COLOMBIA CONSTRUYE SUS CIMIENTOS

Propuestas del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio

Volumen 4

Jairo Alexis Rodríguez López
Diego A. Torres G.
(Editores)

El futuro es de todos
Gobierno de Colombia

MISIÓN DE SABIOS
COLOMBIA - 2019

COLOMBIA CONSTRUYE SUS CIMIENTOS

Propuestas del Foco de
Ciencias Básicas y del Espacio
volumen 4

© Vicepresidencia de la República de Colombia
© Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
© Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia

Primera edición, agosto de 2020, Bogotá D. C.

ISBN Impreso: 978-958-8290-98-0
ISBN digital: 978-958-8290-99-7
Doi: 10.36385/FCBOG-10-0

Colección
Misión Internacional de Sabios 2019

Compilación
Liliana Pulido

Edición
Centro editorial Facultad de Ciencias
coorpub_fcbog@unal.edu.co
Carrera 30 N.º 45-03 (edificio 476, of. 17)
Teléfono: 316 50 00, ext. 15660
http://ciencias.bogota.unal.edu.co/menu-principal/publicaciones

Coordinación editorial
Angélica M. Olaya M.

Corrección de estilo
Juan Solano

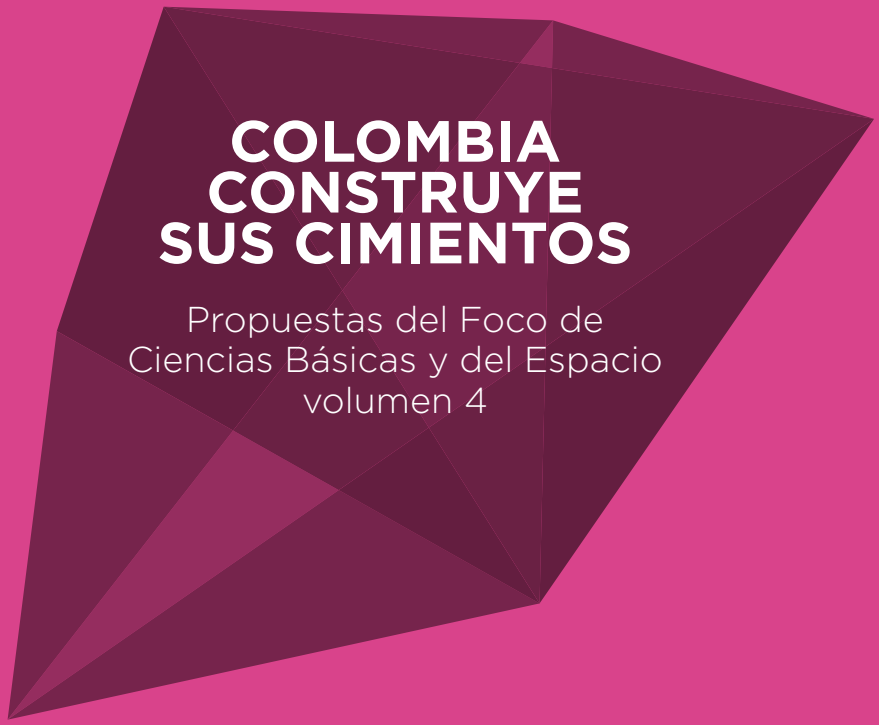
Diseño de la colección y cubierta
leonardofernandezsuarez.com

Diagramación
Leonardo Fernández Suárez

Bogotá, D. C., Colombia, 2020

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin
la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Bogotá, D. C., Colombia



COLOMBIA CONSTRUYE SUS CIMIENTOS

Propuestas del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio
volumen 4

Jairo Alexis Rodríguez López
Diego A. Torres G.
(Editores)

COMISIONADOS

Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente
Silvia Restrepo, coordinadora
Cristian Samper
Federica di Palma (Reino Unido)
Elizabeth Hodson
Mabel Torres
Esteban Manrique Reol (España)
Michel Eddi (Francia)
Ludger Wessjohann (Alemania)
Germán Poveda Jaramillo

Ciencias Básicas y del Espacio
Moisés Wasserman Lerner, coordinador
Carmenza Duque Beltrán
Serge Haroche (Francia, premio Nobel)
Ana María Rey Ayala
Antonio Julio Copete Villa

Ciencias Sociales y Desarrollo Humano con Equidad
Clemente Forero Pineda, coordinador
Ana María Arjona
Sara Victoria Alvarado Salgado
William Maloney (Estados Unidos)
Stanislas Dehaene (Francia)
Johan Schot (Holanda)
Kyoo Sung Noh (Corea del Sur)

Ciencias de la Vida y la Salud
Juan Manuel Anaya, coordinador
Nubia Muñoz
Isabelle Magnin (Francia)
Rodolfo Llinás
Jorge Reynolds
Alejandro Jadad

Energía Sostenible
Juan Benavides Estévez-Bretón, coordinador
Angela Wilkinson (Reino Unido)
Eduardo Posada Flórez
José Fernando Isaza

Industrias Creativas y Culturales
Edgar Puentes, coordinador
Ramiro Osorio
Camila Loboguerrero
Lina Paola Rodríguez Fernández
Carlos Jacanamijoy
Alfredo Zolezzi (Chile)

Océanos y Recursos Hidrobiológicos
Andrés Franco Herrera, coordinador
Weildler Antonio Guerra Curvelo
Jorge Reynolds Pombo
Juan Armando Sánchez
Sabrina Speich (Francia)

Tecnologías Convergentes Nano, Info y Cogno Industrias 4.0
María del Pilar Noriega E., coordinadora
Jean Paul Allain
Tim Andreas Osswald
Orlando Ayala

Coordinador de coordinadores
Clemente Forero Pineda

RELATORES, SECRETARÍAS TÉCNICAS Y EQUIPO DE APOYO

Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente

Secretaría Técnica – Universidad de los Andes, Vicerrectoría de Investigación
Silvia Restrepo
María Fernanda Mideros
Claudia Carolina Caballero Laguna
Guy Henry

Relator
Martín Ramírez

Ciencias Básicas y del Espacio

Secretaría Técnica – Universidad Nacional de Colombia
Jairo Alexis Rodríguez López
Hernando Guillermo Gaitán Duarte
Liliana Pulido Báez

Relator
Diego Alejandro Torres Galindo

Ciencias Sociales y Desarrollo Humano con Equidad

Secretaría Técnica – Universidad del Rosario, Escuela de Ciencias Humanas
Stéphanie Lavaux
Carlos Gustavo Patarroyo
María Martínez

Relatores
Juliana Valdés Pereira
Edgar Sánchez Cuevas
Paula Juliana Guevara Posada

Ciencias de la Vida y la Salud

Secretaría Técnica – Universidad de Antioquia
Pablo Patiño

Relatores
Sara Valencia
Gabriela Puentes

Energía Sostenible

Secretaría Técnica – Universidad Industrial de Santander

Relator
Dionisio Laverde

Profesional de apoyo
Dooglas Ochoa

Industrias Creativas y Culturales

Secretaría Técnica – Pontificia Universidad Javeriana, Vicerrectoría de Investigación
Oscar Hernández Salgar
María Catalina Rodríguez
Luisa Fernanda Zorrilla

Relator
Eliécer Arenas Monsalve

Océanos y Recursos Hidrobiológicos

Secretaría Técnica – Universidad del Valle y Universidad Jorge Tadeo Lozano
Jaime Ricardo Cantera

Relatores
Francisco de Paula Gutiérrez
Enrique Peña
Carlos Edwin Gómez
César Augusto Ruiz

Tecnologías Convergentes Nano, Info y Cogno Industrias 4.0

Secretaría Técnica – Universidad EAFIT y Universidad del Norte
Mauricio Perfetti
Javier Páez Saavedra

Relatores
Mónica Lucía Álvarez Lainez
Elías David Niño

Secretaría Técnica de la Misión

Cristina Garmendia y Science & Innovation Link Office (SILO)

P15 Prólogo

P21 Presentación

P27 Justificación y alcance

Por qué son importantes las ciencias básicas y del espacio **p28**
- El impacto de las ciencias básicas y del espacio en la gente p28
- El impacto de las ciencias básicas y del espacio en la sociedad p30
- Algunos ejemplos p31
- Conclusiones p33

Alcance del trabajo realizado por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio **p34**

P39 *uno*
Propuestas en educación

Propuestas sobre educación adicionales y complementarias a la misión de educación **p42**
- Cómo impactar en la calidad de los maestros p43
- Cómo generar impactos mutuos de la educación y la investigación p45
- Medidas para generar impacto en la calidad de la educación p48
- Medidas para promover la equidad en el acceso a la educación p50
- Medidas para promover el impacto de la educación en ciencias en la sociedad en general p51

Formación científica para jóvenes **p54**
- Costos estimados de la propuesta p57

Conte

El papel de las universidades en la ciencia, la tecnología y la innovación: una mirada al pasado y al futuro **p60**

P67 *dos*

Propuestas en ciencias básicas

Colombia necesita reaccionar a la segunda revolución cuántica **p70**
- Introducción y antecedentes p70
- Metodología p73
- Alternativas políticas y recomendaciones p78
- Implementación y próximos pasos p79
- Conclusión p81

Impacto de las ciencias básicas en el ambiente **p83**

Impacto de las ciencias básicas en la cultura y el conocimiento **p86**

Institutos de investigación sectorial regional por demanda **p88**
- Contexto y alcance p88
- Factores que inciden en la baja apropiación de la innovación por el sector productivo p90
- ¿Cómo mejorar la tecnología y la competitividad de las empresas? p90
- Propuesta de institutos de investigación sectoriales regionales por demanda p92
- Documentos de política pública p95

enido

Impacto de las ciencias básicas y del espacio en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible **p96**
- Fomento de la transdisciplinariedad p97
- Mejorar la calidad de la educación p98
- Mejorar la asesoría científica en las decisiones políticas p98
- Mejorar la percepción social de la ciencia p100

Política para centros e institutos de investigación **p101**
- Antecedentes internacionales p102
- Antecedentes nacionales en Colombia p111
- Desarrollos previos en el país relacionados con una política para centros e institutos de investigación p120
- Resumen de problemas detectados en las políticas para centros e institutos de ciencia, tecnología e innovación p127
- Propuestas de política p129

Barreras normativas para el desarrollo de la ciencia en Colombia **p133**
- Régimen aplicable a la administración de proyectos y programas científicos p134
- Periodo presupuestal p135
- Presentación de proyectos, términos de convocatorias p136
- Seguimiento de proyectos p137
- Contrapartidas y *overhead's* p138
- El concepto de inversión de riesgo en la investigación p140
- Régimen de propiedad intelectual p141
- Trabas en importación de reactivos, equipos e insumos para la investigación p142
- Régimen de asociación público-privada p143
- Estatuto del investigador p143
- Inversión de los ministerios en investigación científica p144
- Lista de propuestas p145

Conte

Un cambio necesario de la normatividad en Colombia para el estudio de la biodiversidad desde la ciencia básica **p148**
- Biodiversidad colombiana en el contexto mundial p148
- Biodiversidad colombiana en el contexto nacional p150
- Normatividad asociada a los estudios de biodiversidad en Colombia p151
- Problemas de la ciencia básica con la normatividad colombiana sobre actividades en biodiversidad, recomendaciones y propuestas de solución p155

Decisiones políticas y gubernamentales **p160**

Diplomacia científica **p163**
- Recomendaciones p165

Regionalización y equidad **p167**
- Educación p169
- Gobernanza y articulación p174

Propuestas de carácter general y transversal **p180**

Propuestas de modificaciones normativas para el manejo de la ciencia, tecnología e innovación **p182**

Propuestas sobre educación adicionales y complementarias a la Misión de Educación **p184**
- Cómo mejorar la calidad de los maestros p184
- Cómo generar impactos mutuos de la educación y la investigación p184
- Medidas para generar impacto en la calidad de la investigación p185
- Medidas para promover la equidad en el acceso a la educación p186
- Medidas para promover el impacto de la educación en ciencias en la sociedad en general p186

enido

Introducción al capítulo sobre misiones **p188**

Conclusiones finales **p191**
- Focos temáticos p191
- Retos y misiones p194
- Políticas p194

P199 *epílogo*
Ciencias básicas y soberanía tecnológica en tiempos de COVID-19

P207 Anexos

1. Análisis estadístico de la encuesta a la comunidad académica de las ciencias básicas y del espacio para la formulación de necesidades a la Misión de Sabios 2019 en Colombia **p209**
- Descripción y depuración de los datos p210
- Métodos estadísticos p212
- Aplicación de los métodos p215
- Reflexiones sobre los resultados de la encuesta p232
- Grupos de análisis por porcentajes de referencia p235

2. Encuentro de la Misión Internacional de Sabios Colombia **p238**
- Encuentro Multifoco p240
- Talleres con niños científicos y jóvenes investigadores p243
- Mesas de trabajo simultáneo con miembros de los focos p246

Conte

Encuentro con industriales y gremios de la región p248
Rueda de prensa final p248
Consideraciones finales p249
Organizadores p250

3. Conversatorio Creando Confianza Universidad-Empresa **p252**
Conversatorio p255
Conclusiones, puntos básicos comunes y recomendaciones p269

P277 Referencias

P286 Lista de siglas

P289 Agradecimientos

P291 Autoras y autores

enido

Prólogo

Dolly Montoya
Rectora de la Universidad Nacional de Colombia y doctora en Ciencias de la Technische Universität München, Alemania

El más noble objetivo que un país puede perseguir es la conformación de un sistema de ciencia, tecnología e innovación que contribuya al crecimiento del conocimiento, aportando de manera efectiva al desarrollo de su nación y convirtiéndose en un factor de identidad. Colombia inició esta búsqueda desde antes del nacimiento mismo de la república, con la Expedición Botánica (1783-1808 y de 1812-1816), y ha estado llena de diferentes vicisitudes históricas que han acompañado el desarrollo de la historia de nuestro país. La ciencia y la tecnología en Colombia tienen una historia tan apasionante e interesante como la historia de nuestra nación, y en los últimos años han sufrido un proceso de transformación y aceptación por la sociedad por la cual no queda duda de que por primera vez Colombia tiene la opción de no condenar a la ciencia y a la tecnología a la indiferencia y al olvido con la que nació hace casi doscientos años.

Nunca en la historia de la humanidad las actividades de ciencia, tecnología e innovación habían tenido un impacto tan profundo en la definición de nuestro destino, y Colombia no es ajeno a esto. Este enorme progreso está cimentado en el acelerado desarrollo de las ciencias básicas, y es por ello que la conformación de un Foco de Ciencias Básicas y del Espacio no solamente es pertinente, sino que además sus resultados y propuestas planteadas son transversales para el desarrollo exitoso de las propuestas de los demás focos de la Misión de Sabios. Sin embargo, este reconocimiento contrasta con el poco entendimiento de la importancia de

las mismas ciencias básicas. Por esa razón este texto presenta una importante disertación acerca de su alcance y de la importancia de las ciencias básicas y del espacio, que no solo es un buen comienzo para el libro, sino que además es una lectura obligada tanto para formuladores de políticas publicas en ciencia, tecnología e innovación como para estudiantes que inician su formación en ciencias básicas. La curiosidad por entender el mundo que nos rodea nos hace humanos, y la necesidad de saciar esa misma curiosidad ha logrado que hayamos llegado a la luna, modificado nuestro entorno y nuestras vidas. Hacemos ciencia porque eso nos hace humanos.

El grupo de trabajo del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio estaba conformado por cinco personas: los físicos Serge Haroche, premio Nobel francés, la Dra. Ana María Rey y el Dr. Antonio Copete, y por los químicos Dra. Carmenza Duque y el Dr. Moisés Wasserman; además de ser exrector de la Universidad Nacional de Colombia, el profesor Wasserman no solo lideró la titánica labor de coordinar al grupo, sino que además jugó un papel clave en el exitoso desarrollo de la Misión de Sabios en general. Todos y cada uno de los miembros del Foco, junto con la secretaría técnica ejercida por la Universidad Nacional de Colombia, trabajaron de forma permanente a lo largo de más de trescientos incansables días para presentar este documento, producto de reuniones, análisis de encuestas, lecturas cuidadosas e intercambio permanente de ideas y sugerencias.

Estoy segura de que, a pesar de las dificultades presentadas y los puntos de vista diferentes, los aportes logrados representan una clara hoja de ruta sobre temas como la educación temprana en ciencias, los mecanismos de financiamiento y promoción a la actividad científica, el desarrollo de una normatividad que incentive el desarrollo de actividades de ciencia y tecnología, mecanismos para que el sector privado aproveche las enormes capacidades que tiene la academia, hasta una mirada al papel crucial que las universidades tendrán en el desarrollo de las propuestas presentadas por la Misión de Sabios. Este último tema merece una mirada detallada por parte de las universidades en Colombia, los Ministerios de Educación Nacional y de Ciencia, Tecnología e Innovación, y los futuros gobiernos.

Las sugerencias presentadas por la Misión Internacional de Sabios son la mejor oportunidad que tenemos como país para construir una sociedad donde la ciencia y la tecnología generen bienestar a través del conocimiento y la innovación. Debemos continuar un camino iniciado hace más de doscientos años, pero esta vez a pasos acelerados, sostenidos, correctamente dirigidos y acompañados con compromisos de diferentes sectores de la sociedad. Nuestro nuevo destino está trazado, pero no es suficiente ver la tierra prometida, tenemos que ir por ella.

Presentación

Un país no puede depender de otros países en conocimiento básico para tener un desarrollo económico acelerado o para disputar posiciones relevantes en la economía global. La generación de riqueza está crecientemente asociada a la productividad científica y requiere crear nuevas industrias y desarrollar tecnologías propias basadas en las capacidades de nuestra población y de nuestros recursos naturales, a la vez que las conservamos para el bienestar de largo plazo de nuestra nación. La generación de conocimiento y el crecimiento económico se dinamizarán si se llega a un acuerdo explícito entre el Estado, el sector privado, la sociedad y la academia para remar en una sola dirección.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2020). *Colombia hacia una sociedad del conocimiento. Reflexiones y propuestas, volumen 1*

En el instante en el cual fueron escritas estas líneas de texto, la humanidad vive uno de los momentos más difíciles de su historia debido a la pandemia de la enfermedad del coronavirus (COVID-19). Una de las características centrales e innegables de esta pandemia es el papel crucial que las ciencias y las técnicas desarrolladas a partir de la investigación en ciencias básicas han tenido a lo largo de esta crisis sanitaria. Aún no es claro cuándo retornará la normalidad después de las cuarentenas y el confinamiento, pero ya se acepta que dicha decisión estará basada en las recomendaciones dadas a partir del seguimiento cuidadoso a la evolución de la pandemia, los posibles desarrollos de una vacuna efectiva o un tratamiento a la enfermedad, y la interacción de grupos de científicos expertos y Gobiernos alrededor del mundo. Los países y naciones ya no pueden darse el lujo de relegar la ciencia, sino que, al contrario, deben hacerla parte integral de su desarrollo presente y futuro.

El Gobierno colombiano inició la denominada Misión Internacional de Sabios 2019, a comienzos de ese año, con 46 expertos nacionales e internacionales reunidos en ocho focos temáticos con el objetivo de plantear una serie de recomendaciones en las áreas de: Ciencias Básicas y del Espacio; Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente; Ciencias Sociales, Desarrollo Humano y Equidad; Ciencias de la Vida y la Salud;

Figura 1. Reunión del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio con miembros de la Embajada de los Estados Unidos y la Dra. Jeanette Epps de la NASA. De derecha a izquierda aparecen Diana Patiño, Carmenza Duque Beltrán, Jeanette Epps, Malore Brown, Moisés Wasserman Lerner, Hernando Gaitán, Jairo Alexis Rodríguez, Abigail Dressel y Diego Torres.

Energía Sostenible; Industrias Creativas y Culturales; Océanos y Recursos Hidrobiológicos; Tecnologías Convergentes Nano-, Info- y Cogno- Industrias 4.0[1].

Este volumen contiene las reflexiones y recomendaciones del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, realizadas a lo largo del 2019 en un intenso y constante trabajo. Sus miembros tuvieron reuniones periódicas presenciales y a distancia, con invitados de la comunidad científica, el sector industrial y la sociedad en general. Destacan los encuentros con la Dr. Jeanette Jo Epps, astronauta de la NASA (figura 1); con el sector industrial, en la Universidad de la Sabana y la Universidad de Caldas; un emotivo e interesante encuentro con niños y jóvenes investigadores realizado en la sede Manizales de la Universidad Nacional de Colombia; con representantes de los Gobiernos nacional y local, muchos de ellos con el apoyo de la Vicepresidencia de la Republica y de Colciencias[2]; además de reuniones permanentes de interacción con los demás focos (figura 2).

1 Las recomendaciones de los focos fueron presentadas en el volumen 1 de la colección Misión Internacional de Sabios 2019, titulado *Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020).

2 Colciencias se transformó en el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Figura 2. Encuentro de los miembros del Foco de la Misión de Sabios en la cumbre realizada en Medellín, 10 y 11 de junio de 2019. De izquierda a derecha aparecen Jairo Alexis Rodríguez, Moisés Wasserman Lerner, Serge Haroche, Carmenza Duque Beltrán y Hernando Gaitán.

Fueron realizadas 42 actividades en total, entre reuniones, encuentros, presentaciones (figura 3), entrevistas y talleres, que congregaron alrededor de 2000 personas. Estas actividades iniciaron con una encuesta a la comunidad científica, respondida por 574 miembros registrados del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) de Colciencias, cuyos resultados son presentados en los anexos de este libro, así como las memorias de los encuentros realizados en la Universidad de la Sabana y en la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Esta presentación es complementada por una definición de los alcances del trabajo realizado por el foco, y por una justificación de la importancia de las ciencias básicas y del espacio en el desarrollo y construcción de una sociedad, en especial para la colombiana. Además, esa justificación y alcance explican la organización y la lógica en la exposición de las recomendaciones.

El desarrollo de las ciencias básicas y del espacio en un país depende directamente de la formación de sus ciudadanos desde la primera infancia hasta la universidad, así como de las acciones concretas para promover la investigación guiada por la curiosidad, que responda a los grandes interrogantes de la humanidad, además de la creación de empresas con un alto valor agregado a partir de estos campos de conocimiento. Por esta razón las propuestas de este foco se han consignado en dos capítulos, uno dedicado al importantísimo tema de la educación y otro dedicado a las recomendaciones específicas en ciencias básicas y del espacio. Este último

Figura 3. Presentación de la Dra. Ana María Rey Ayala en el encuentro de la Misión de Sabios organizado por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio en Manizales, realizado del 19 al 21 de agosto de 2019.

ofrece una interesante mirada a las oportunidades que Colombia tiene de participar en la actual revolución cuántica, además de realizar propuestas en temas prioritarios como el medio ambiente, la biodiversidad y el uso de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTeI) para mejorar la apropiación y la transferencia de conocimiento hacia la sociedad.

El trabajo del foco es complementado con una serie de escritos de política publica sobre el papel de las ciencias básicas y del espacio en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible; el desarrollo de institutos de investigación; las barreras normativas en Colombia para el desarrollo de la ciencia; el estudio de la biodiversidad; la diplomacia científica; la regionalización y la equidad.

Uno de los apartes finales ofrece un resumen de las propuestas presentadas por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, junto con las misiones emblemáticas como una estrategia para su implementación.

Cerramos este libro con un epílogo acerca de las ciencias básicas y la soberanía tecnológica en tiempo de la COVID-19, texto que fue incluido en el volumen 2 de la colección. Este asunto cobra una especial relevancia a la luz de la pandemia: es claro el peligro en el que se encuentra el país y la sociedad por el abandono de las ciencias básicas en las últimas décadas.

Esperamos que esta obra sirva como un plan de trabajo para el Estado y nuestra sociedad en materia de ciencias básicas y del espacio en los años y décadas por venir. Aunque el horizonte cambie con las circunstancias, y a veces sea difícil, la lucha por esas realizaciones no solo nos hace humanos sino que garantizará el bienestar de las futuras generaciones de colombianos.

Justificación y alcance

Una de las primeras acciones del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio fue definir claramente los alcances de la gigantesca tarea encomendada. Esta sección presenta una justificación de por qué son importantes las Ciencias Básicas y del Espacio, junto con una descripción del alcance del trabajo realizado por el foco en el desarrollo de sus actividades y recomendaciones.

Por qué son importantes las ciencias básicas y del espacio

Mucha gente se cuestiona sobre la importancia de las ciencias básicas y del espacio en un país como Colombia. Sus argumentos no son triviales. Se preguntan si un país no desarrollado, con tantas necesidades apremiantes insatisfechas, puede darse el lujo de invertir esfuerzos y recursos en asuntos que aparentemente no están dirigidos a resolver alguna de esas carencias desatendidas. ¿Por qué debemos observar galaxias lejanas si nuestras carreteras no son buenas? ¿Qué nos interesan los genomas de las plantas si lo que necesitamos es producir más comida? ¿Debemos interesarnos en la inteligencia artificial cuando aún tenemos limitaciones para educar a muchas de nuestras jóvenes inteligencias naturales?

Son preguntas válidas sin duda, pero similares a las que podría hacer alguien que al observar la construcción de un rascacielos se pregunta por qué empezar cavando profundamente en el terreno para enterrar columnas si el objetivo de los constructores es llegar alto. Los cimientos son necesarios para que el edificio sea estable. Igualmente hay cimientos que son necesarios para que crezcan los sistemas productivos, la cultura, la educación, la salud, y en general para que se dé un desarrollo armónico de la sociedad. Las ciencias básicas y del espacio son una parte fundamental en la construcción de esos cimientos.

El impacto de las ciencias básicas y del espacio en la gente

La ciencia básica es parte y fundamento del impulso humano y de su curiosidad por entender y cambiar el mundo en el que vivimos. Ese deseo define en gran medida la naturaleza de nuestra especie, *Homo sapiens*, 'hombre sabio'. Muchos animales son curiosos, pero solo los humanos disfrutamos el intenso placer que produce comprender el funcionamiento del mundo, y solo nosotros podemos usar ese conocimiento para modificar el curso de nuestras vidas y de nuestro entorno.

Desde orígenes remotos hemos anhelado y perseguido el sueño de entender el universo en el cual nuestro planeta está situado. Hemos tratado de descubrir cuándo y cómo apareció la tierra, cómo se ha configurado la materia con las transformaciones físicas y químicas que se dieron después del *big bang*, cuándo surgió la vida y cómo evolucionó hasta los seres que existen hoy. Siempre nos fascinaron las estrellas. El deseo de explicar su existencia y sus movimientos impulsó, a lo largo de la civilización, todo nuestro desarrollo intelectual, y generó la tecnología que hoy nos maravilla. Las ciencias básicas y del espacio generaron conocimiento, y el conocimiento dio poder.

Este conocimiento ha sido acumulado durante más de diez mil años y es patrimonio de nuestra especie. Porque todos lo usamos tenemos la obligación moral de participar en los esfuerzos que lo hacen crecer. Hoy más que nunca el mundo es global y está interconectado en todas sus partes. No es posible disfrutar de sus ventajas sin asumir las obligaciones morales que eso conlleva, y una muy importante es contribuir a esa construcción permanente del conocimiento de la humanidad. *Colombia pertenece a la comunidad de las naciones y, como tal, tiene el deber de contribuir en esos esfuerzos, para su propio beneficio y para el de la humanidad en general*.

Los niños y los jóvenes son naturalmente curiosos, les interesa explorar el mundo. Los programas en ciencias básicas que se desarrollen en universidades colombianas contribuirán a su educación y les abrirán excitantes posibilidades para permanecer en el país participando en su desarrollo y creciendo personalmente. Después de que hayan tenido la oportunidad de trabajar en ciencias y de obtener resultados por ellos mismos, estarán sin duda interesados en aplicar las experiencias ganadas en otros dominios, algunos más aplicados. Un científico, bien formado en matemáticas, física, química o biología podrá ser también un buen administrador en el sector público o en el privado, porque sabe pensar en una forma racional y crítica, sabe cómo preguntar las preguntas más apropiadas y cómo resolver los problemas más complejos. *Si Colombia no ofrece a sus jóvenes estudiantes la oportunidad de satisfacer su curiosidad en ciencias básicas, ellos la buscarán en otras partes, y el país perderá muchas de sus mejores mentes*. Esto afectará no solo a la ciencia sino a muchos otros y amplios sectores de actividad social.

El impacto de las ciencias básicas y del espacio en la sociedad

La generación de ciudadanos bien educados en ciencia produce buenos retornos a los países que les brindan esa educación. Las mejores decisiones, las mejores políticas de Estado, son aquellas tomadas por los ciudadanos bien informados, entrenados en el ejercicio de su racionalidad, y que tienen una cultura en la que la ciencia es crucial. Ellos serán capaces de reconocer peligros y riesgos reales y aportar soluciones apropiadas. Ellos no podrán ser engañados por mitos e ilusiones.

El país se beneficiará en muchas formas de la experiencia y conocimiento adquiridos por sus investigadores mientras desarrollan ciencia básica. Debemos entender que la inversión en ciencias básicas y del espacio no es un privilegio que los países desarrollados se ganaron gracias a su dominio económico. Por el contrario, fue precisamente el desarrollo de estas ciencias lo que les permitió a esos países llegar a la posición de liderazgo que detentan.

Nunca resulta sencillo dibujar una línea que separe ciencia básica y ciencia aplicada. Es más fácil comprobar que no hay una ciencia aplicada sin el sustento de una ciencia básica. No puede haber desarrollos tecnológicos que beneficien a la sociedad, a los seres vivos o al planeta, sin avances básicos que los soporten. Algunas personas podrían argumentar que no importa realmente si son otros, y en otro lugar del mundo, los que producen ese conocimiento, siempre y cuando podamos adquirirlo por algún medio. Aunque eso parezca cierto, el mundo no es estático, sino que cambia cada vez más rápidamente. Los desarrollos del futuro son inciertos ¿Quién podrá predecir cuáles serán las revoluciones tecnológicas de los próximos cien años?

Si queremos un país que crezca económicamente tenemos que ser capaces de estar involucrados en los desarrollos novedosos cuando surgen. Esto solo es posible si hay una capacidad para entender lo que está sucediendo local y globalmente, y para participar, desde temprano, en los proyectos que llevan a esos desarrollos. Los productos terminados importados no nos harán más competitivos. Las brechas en la inversión

en ciencias básicas y del espacio necesariamente generan un atraso en desarrollo tecnológico. Las ciencias básicas y del espacio construyen en las sociedades un potencial de respuesta, una capacidad para resolver nuevos problemas, aunque todavía no sea posible imaginarlos.

Aunque los beneficios económicos de las ciencias básicas no parezcan evidentes en un principio, se revelarán como muy obvios cuando surjan las aplicaciones tecnológicas, los inventos y las innovaciones derivadas de ellos. Como se puede ver hoy en el mundo, todo este conocimiento no solo ha promovido enormes empresas económicas, sino también produce bienestar, salud y felicidad a la gente.

Algunos ejemplos

Las anteriores no son meras reflexiones teóricas y retóricas. Hay muchos ejemplos que demuestran y ayudan a entender la importancia de las ciencias básicas y del espacio para las naciones. Por ejemplo, las ciencias básicas y de la computación han sido claves para el desarrollo de los sistemas de comunicación inalámbrica, que llevaron a los teléfonos celulares en las últimas décadas del siglo XX; para el desarrollo de sistemas de geolocalización global (GPS); para internet y sus amplísimas aplicaciones que incluyen el intercambio a través del globo terrestre de cientos de *terabytes* de información por minuto; el descubrimiento de nuevos elementos y la comprensión de cómo todos ellos se combinan para originar los materiales que existen en la tierra y para crear otros nuevos no imaginados; para la invención de nuevos agentes terapéuticos usados para curar enfermedades que afligen a la humanidad y causan millones de muertes; para la generación de tecnologías que cada día nos sorprenden más, como la robótica y la inteligencia artificial.

En este país nos interesan los genomas, así como nos interesan los increíbles desarrollos que explican cada vez más precisamente cómo funciona la vida. En un mundo que ya llegó a los 7500 millones de habitantes humanos que deben ser bien alimentados, solo una agricultura basada en esos conocimientos puede estar a la altura del reto. La humanidad está empezando también a entender cómo funciona la mente, y eso también nos importa a los colombianos.

La especie humana ha logrado llegar al grado de civilización actual gracias a la comprensión de la mecánica clásica, la termodinámica, el electromagnetismo y más recientemente la mecánica cuántica. La mecánica cuántica abrió un nuevo capítulo en la historia del conocimiento, que ha cambiado la forma como vemos al mundo. Este cuerpo de teorías básicas ha dado a los científicos la capacidad para construir semiconductores que llevaron, en últimas, a la creación del transistor, de minúsculos interruptores que empacados en circuitos integrados han permitido el desarrollo de la electrónica moderna y de los computadores.

La historia reciente muestra cómo los países exitosos son aquellos que han hecho una gran inversión en investigación científica. China, Corea del Sur y Singapur para nombrar unos pocos, hace cincuenta años eran tan pobres como Colombia. Estos países invirtieron masivamente en investigación y desarrollo, al comienzo muy particularmente en ciencias básicas, y se han beneficiado inmensamente de ese esfuerzo que en pocos años las llevó a multiplicar varias veces el ingreso per cápita de sus ciudadanos. Para crear riqueza y bienestar, y para desarrollar su economía un país debe ser capaz de crear nuevas industrias, de inventar aparatos y no solo comprarlos en el exterior. Para construir nuevos artefactos el país debe tener inventores que exploten los descubrimientos de la ciencia básica. China, Corea del Sur y Singapur entendieron muy bien la estrecha relación que hay entre hacer, inventar y descubrir. Corea dedica más del 4 % de su PIB a investigación científica, mientras Colombia un poco menos de 0,3 % (indicador que es inferior al de Brasil, Argentina y México).

De hecho, el mundo está a las puertas de una nueva revolución científica que denominan la segunda revolución cuántica. Ella será la responsable de avances claves en el siglo XXI. Desde el 2010 muchos gobiernos han establecido programas para explorar las tecnologías cuánticas. En 2016 más de 3400 científicos firmaron el *Quantum Manifesto*, que aspira coordinar acciones para trasladar las tecnologías cuánticas del laboratorio, de la academia, a la industria, y educar profesionales de tecnología cuántica con una combinación de ciencias básicas, ciencias de la computación e ingenierías.

En ciencias del espacio hay también ejemplos de países que decidieron invertir en ellas, aún siendo sus necesidades son tan acuciantes como las

nuestras. Un ejemplo es el de la Agencia India del Espacio (ISRO) que envió exitosamente una misión científica a Marte y produjo conocimiento que puede llevar a innovaciones notables. China envió una nave espacial al lado oculto de la luna. Incluso un país tan pequeño y con tantos problemas como Israel envió una misión espacial a la luna (que fue financiada por su sector privado). La ciencia del espacio no solo contempla la observación del espacio desde la tierra, sino la observación, por medio de satélites, de la tierra desde el espacio. Esto cada día es más importante para hacer un manejo sensato y eficiente de los territorios.

Si Colombia no invierte ahora en ciencias básicas y del espacio, si no se sube a este tren rápido en el que la humanidad viaja, quedará rezagada, con un inmenso costo futuro en competitividad económica y en progreso social.

Conclusiones

En conclusión, nosotros planteamos que las ciencias básicas y del espacio no son un lujo para países ricos. Son una necesidad para todos los pueblos. No es posible tener tecnología e innovación sin una base sólida de conocimiento. La calidad de nuestra educación dependerá en gran medida de la calidad de nuestra investigación científica. No es posible ser parte del mundo global sin contribuir con sus desarrollos. La ciencia es un dominio en el que la gente puede colaborar, a través de fronteras, compartiendo los mismos valores, y trabajando por los mismos objetivos, incluso con orientaciones políticas diferentes. La ciencia es un patrimonio de la humanidad al cual no podemos renunciar, y al que no podemos negarle nuestra participación.

Alcance del trabajo realizado por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio

Moisés Wasserman Lerner[3]

Una de las primeras tareas que abordamos en los diferentes focos de la Misión de Sabios fue la definición de alcance de nuestra tarea. En el caso del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio enfrentamos dificultades singulares y adicionales a las que posiblemente enfrentan los otros focos.

Para definir los alcances de un trabajo se define lo que este incluye, pero también lo que se va a excluir. En el caso de este foco no es posible excluir ninguna de las disciplinas que lo componen. Son todas tan básicas, que resulta inimaginable un esquema que priorice, por ejemplo, la física sobre las matemáticas o la biología sobre la geología. Eso simplemente no funcionaría. No es posible excluir o disminuir en importancia a alguna de las ramas básicas de la ciencia. Todas son necesarias para resolver problemas fundamentales y a largo término cada una necesita de las otras para que su contribución sea significativa.

Muchos países, sobre todo los que han tenido éxito incorporando la ciencia al desarrollo general, definen, entre sus prioridades de financiamiento, una cantidad sustantiva de recursos a lo que llaman "ciencia impulsada por la curiosidad" (*curiosity-driven science*). La curiosidad se ha definido siempre como el motor fundamental de la educación y como el origen de la ciencia en general. Desde el inicio de la civilización la curiosidad ha movido a la gente a hacerse preguntas fundamentales y a intentar dar respuestas cada vez más precisas, explicaciones con un mayor contenido de verdad. La emoción generada por la curiosidad está bien expresada en

3 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

la afirmación de Einstein de que: "No tengo talentos especiales. Solo soy apasionadamente curioso".

Sin embargo, recientemente la ciencia impulsada por la curiosidad ha adquirido un sentido negativo en algunos ámbitos (y Colombia no es ajena a ese hecho). Se ve como un capricho personal con una motivación egoísta, que pretende imponerse sobre el interés general. Lo que se hace frecuentemente en ciencia hoy está en gran medida definido por intereses que buscan la utilidad práctica inmediata y medible con evaluaciones costo-beneficio, que son insensibles a la aparentemente "superada e ingenua" curiosidad. Esta posición desconoce el hecho de que muchos de los grandes cambios en el mundo no han sido predichos con antelación y son resultado de un avance antes no imaginado. La ciencia medida con una evaluación costo-beneficio simple es aquella ciencia sobre aquello que ya existe y no sobre lo que podría existir en el futuro de crucial importancia. Tampoco puede medir una cantidad de beneficios colaterales, de "externalidades positivas" (en el idioma de los economistas) que se derivan del nuevo conocimiento. Esas externalidades no habrían podido ser usadas como argumento para aprobar el proyecto que las generó, porque en ese momento eran impensables. Además, es importante reconocer que muchas de las partes interesadas (*stakeholders*) de la ciencia básica no saben que lo son, hasta mucho después de que se generó el conocimiento que impactó su campo de interés.

No es casualidad que los países de mayor desarrollo científico tengan un mayor desarrollo económico y social. En esos países, la investigación impulsada por la curiosidad siempre se contempla como una de las estrategias investigativas (no la única). En este documento queremos sustentar la necesidad de que Colombia también abra un espacio para desarrollarla.

Pensamos que el alcance de nuestras propuestas se puede enmarcar mejor si definimos el impacto de la investigación dirigida a generar conocimiento en importantes y actuales aspectos del desarrollo humano, teniendo en cuenta las consideraciones de que no podemos excluir a ninguna de las disciplinas básicas y que no debemos limitarnos a propuestas que demuestren un efecto inmediato y se soporten en un cálculo simple de costo-beneficio.

Desarrollaremos el impacto de las ciencias básicas y del espacio en:

- La educación en todos los niveles.
- La evolución de la enseñanza y el aprendizaje.
- La cultura y el conocimiento general.
- El desarrollo tecnológico y la innovación.
- La investigación aplicada y la solución de problemas concretos.
- El medio ambiente.
- La gobernanza y las decisiones políticas.
- El logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Trataremos de exponer en este documento, en forma muy sintética, cómo la ciencia básica y del espacio impacta esos diferentes aspectos, y como sin ella tendrán dificultades para desarrollarse. Propondremos (en forma general) algunas estrategias necesarias para fomentar la actividad científica básica en estos campos, y algunos temas en ellos que nos parece esencial desarrollar en Colombia.

Posteriormente los miembros del foco desarrollaremos algunos de estos aspectos en documentos más detallados. Reconocemos que es un acercamiento poco ortodoxo para definir el alcance del trabajo de uno de los focos de la Misión, pero pensamos que por sus especificidades y por las consideraciones anteriores podremos generar de esta manera un aporte positivo para los otros focos y para la política científica del país.

Propuestas en educación

10

Una de las grandes contribuciones realizadas por la Misión Internacional de Sabios 2019 fue la discusión en torno al papel de la educación a todos los niveles para contribuir a la construcción de una sociedad basada en conocimiento. Parte de estas recomendaciones ya han sido presentadas en el libro *Colombia hacia una sociedad de conocimiento: reflexiones y propuestas* (Misión de Sabios, 2020). Sin embargo, son presentadas acá por considerarse de vital importancia para el desarrollo completo de las propuestas del foco. Las propuestas presentadas buscan cubrir parte de los tópicos presentados en el apartado "Justificación y alcance" , estos son:

- La educación en todos los niveles.
- La evolución de la enseñanza y el aprendizaje.
- La cultura y el conocimiento general.

Propuestas sobre educación adicionales y complementarias a la misión de educación

Esta es una propuesta-reflexión por parte del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión de Sabios sobre acciones que pueden impactar a la educación en el país. Son el resultado de las opiniones recogidas en encuestas y foros, y de las reflexiones propias del grupo. La mayoría son recomendaciones al Gobierno, adicionales y a veces complementarias a las propuestas contenidas en el libro *Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas* (volumen 1).

Estas propuestas se presentan con una explicación brevísima. De ser consideradas convenientes por el Gobierno deberán construirse con base en ellas verdaderos proyectos, con acciones, presupuestos, actores y otras consideraciones, en un trabajo técnico que no está en las capacidades actuales del Foco.

Agrupamos a continuación las recomendaciones en cinco clases según su impacto en: 1) la calidad de los maestros, 2) impactos mutuos de la investigación y la educación, 3) la calidad de la educación, 4) la equidad en el acceso, y 5) la promoción del impacto de la educación en ciencias básicas en la sociedad. Nos hemos limitado a proponer acciones que tienen relación directa con el objeto de nuestro foco que es el de las ciencias básicas.

Hoy está claro que los trabajos cambian a ritmos crecientes y que surgen todo el tiempo nuevas profesiones y oficios. Las disciplinas con las que trabaja este foco tienen la gran ventaja de que siempre serán necesarias, independientemente del marco profesional en el que se apliquen. No habrá nueva ciencia que no use las matemáticas (que son su idioma natural) ni tecnologías que no dependan de la física, la química, la biología, las ciencias de la tierra, la atmósfera y el espacio. También ellas cambiarán y se renovarán, pero no se harán obsoletas.

Cómo impactar en la calidad de los maestros

La calidad de la enseñanza, sobre todo en los niveles de básica, secundaria y media, es uno de los problemas más importantes detectados por el foco. La solución de ese problema depende principalmente de la calidad de formación de los maestros. El problema es tanto más serio en la educación rural, en la que muchas veces la escuela cuenta con solo uno o dos maestros, caso en el que sus limitaciones generan un impacto general en los niños de la comunidad y por mucho tiempo. El problema se agrava por la existencia de un sistema de evaluación del maestro muy débil y con pocos efectos en la práctica.

La formación de maestros tiene un impacto muy fuerte en la equidad, porque los colegios privados de prestigio compiten ventajosamente con sus salarios para hacer una selección estricta del maestro, lo que no pasa con la educación pública. A pesar de que hay muy buenos maestros, algunos casi heroicos en el sistema público, es necesario reconocer que este se encuentra en desventaja.

La solución a estas problemáticas es compleja y de largo término. Educar maestros nuevos y reeducar a buen número de los más antiguos requerirá de un esfuerzo enorme y continuado por muchos años. Por eso nos parece que hay que buscar vías para acelerar un proceso de cualificación de la planta docente del país. Sin duda el éxito de cualquier propuesta depende de que los maestros tengan una remuneración adecuada a la importancia y al valor social de su actividad, y eso debe entenderse como condición para todo lo que se propone.

Algunas estrategias que proponemos son:

- Es indispensable establecer un sistema de evaluación a los maestros que conduzca a su promoción en el sistema general, pero también a planes de mejoramiento que puede incluir estudios complementarios e incluso separación del cargo en casos extremos.

  Somos conscientes de que esta propuesta puede tener dificultades políticas y debe ser negociada con los maestros, pero nos parece indispensable. La dignidad del maestro no lo exime de rendir cuentas, sino todo lo contrario.

- Promover la creación de facultades de educación en las universidades acreditadas. Por razones históricas muchas universidades del país, algunas entre las mejores, cerraron sus facultades de educación. Este hecho seguramente estaba bien sustentado en su momento, pero el efecto que produjo no fue positivo. Actualmente, como se demuestra por las pruebas de Estado, los resultados son deficientes tanto de ingreso como de egreso de las facultades y escuelas de educación. Pensamos que las universidades acreditadas, con todo respeto por su autonomía, harían bien en reconsiderar esta decisión del pasado. El Ministerio de Educación Nacional (MEN) debe liderar una reflexión que conduzca a acciones en tal sentido.
- Se deben fortalecer los programas de mejoramiento continuo para maestros. Esos programas existen liderados por el MEN, y muchas universidades ofrecen especializaciones y maestrías para maestros. Sabemos además que ellas (sobre todo las maestrías) tienen impacto en la promoción dentro de la carrera docente. Sin embargo, dada la magnitud de la planta docente nacional y de las necesidades del país, sugerimos que se fortalezcan los que existen y que se creen programas adicionales, especialmente en matemáticas y ciencias básicas que se han detectado como áreas problemáticas en las Pruebas Pisa.
- Crear un programa de becas para estudiantes con alta calificación en la prueba "Saber 11" que deseen estudiar para ser educadores. Uno de los problemas detectados es que los estudiantes con las mejores calificaciones en las pruebas de Estado no escogen como opción la educación al graduarse de la educación media. El fenómeno tiene diversas causas, pero un posible recurso para corregirlo es establecer un programa nacional que permita estudiar con beca a estudiantes que hayan obtenido calificaciones sobresalientes al final de su colegio y quieran emprender una carrera docente.
- Promover que en las facultades de ciencias se ofrezca un periodo de preparación pedagógica como opción de trabajo de grado, y que se reconozca formalmente a los egresados de esa opción su capacitación como docentes, con facultades plenas para ejercer

como maestros. Un problema que se ha detectado es que las facultades de educación tienen un acento fuerte en la preparación pedagógica pero más débil en la disciplinar, sobre todo en las áreas de matemáticas y ciencias básicas. Este programa podría enriquecer rápidamente el sistema con maestros con buen dominio de las disciplinas mencionadas. Esto deberá complementarse con esfuerzos para aumentar el acceso y la graduación de estudiantes de pregrado de programas científicos.

- Se debe poder ofrecer ese mismo programa formativo, y con la misma condición de habilitación laboral como maestros, a egresados de programas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), y programas de humanidades y artes interesados.
- Facilitar la participación de los estudiantes de doctorado y maestría en la enseñanza de ciencias básicas en colegios públicos. En muchas de las universidades internacionales existen programas que permiten la vinculación de los estudiantes de doctorado y maestría en la enseñanza de ciencia básica en colegios. Adoptar esta clase de programas sería ideal en Colombia. El tiempo que los estudiantes le dedican a esta labor puede contar como parte de su trabajo docente como asistentes graduados. Esto puede ayudar también a promover la futura vinculación de los estudiantes graduados en la enseñanza y servir para generar motivación e interés por la ciencia en los estudiantes que no tienen necesariamente acceso a esta clase de formación.

Cómo generar impactos mutuos de la educación y la investigación

El Foco de Ciencias Básicas y del Espacio se ocupa sobre todo de la investigación científica y de su impacto en la sociedad, pero la educación es un hecho transversal a todas las ciencias y que se alimenta de la investigación al tiempo que la nutre. Por tanto, nos parece importante plantear algunas estrategias que fortalezcan esta relación mutua. Algunas de ellas, que

fueron detectadas en las consultas y analizadas en nuestras discusiones, son las siguientes:

- Es necesario diseñar programas que incentiven el estudio de las carreras científicas en pregrado. Estos incentivos deben incluir programas agresivos de promoción, pero también abrir la posibilidad de acceso con becas y con otros sistemas de apoyo financiero, a quienes se decidan por estas disciplinas. Según el Sistema Nacional de Información en la Educación Superior (SNIES), en 2015 y 2016, solo el 2,7 % y el 1,66 % de los matriculados en pregrados en Colombia estaban estudiando matemáticas o alguna de las ciencias naturales. Entre los años 2001 y 2017 solamente el 1,6 % de los egresados del país habían estudiado estas disciplinas. Así, aumentar el número de estudiantes en ciencias es fundamental, más aún con la anterior propuesta de dirigir muchos de los egresados a labores docentes.
- Son necesarios los programas nacionales de apoyo a los doctorados. A pesar del crecimiento de los doctorados en ciencias básicas en los años recientes, en 2016 se graduaron en el país solo 129 doctores en todas las áreas (en biologías 66, física 14, geología 2, matemáticas 14 y química 33). Los doctorados no solo tienen impacto en el desarrollo de la sociedad, también tienen un impacto profundo en el resto del sistema educativo. Los propósitos nacionales deben incluir el estímulo para la creación de nuevos y más doctorados, un fuerte sistema de becas doctorales (hoy a un buen estudiante colombiano le puede resultar más fácil conseguir una beca en Estados Unidos o Europa que en Colombia). Además, es necesario que el apoyo al estudiante vaya de mano con un apoyo a su investigación. Muchas veces el limitante para ofertar cupos está en la dificultad para financiar la investigación doctoral, más que en infraestructura humana o física.
- Se debe establecer un proyecto que promueva la difusión de trabajos científicos que se hayan desarrollado con financiamiento estatal. En el marco de este proyecto, quien reciba financiamiento por parte de

cualquier agencia del Estado debe comprometerse a exposiciones de difusión en colegios, escuelas y en ámbitos sociales diversos.

- Es importante promover la participación de los estudiantes de pregrado en proyectos de investigación. Es necesario no solo para enriquecer su formación integral sino también para permitirles que sean aceptados en programas doctorales internacionales si deciden solicitar admisiones. Estos programas tienen como un requisito de admisión la participación en proyectos de investigación. Para lograrlo es importante facilitar el establecimiento de programas de intercambio con universidades internacionales. Algunos de estos programas ya existen, como "Undergraduate Research Experience Purdue-Colombia", "Nexo Global", "Pasantía de investigación Cornell University", sin embargo, las oportunidades son limitadas y se necesita aumentar la capacidad de participación de estudiantes de pregrado en este tipo de programas. Para esto se requiere la coordinación de las universidades con los Ministerios de Educación y de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Se planteó la necesidad de buscar un sistema nacional para financiar el acceso a bases de datos y bibliográficas. En este momento el acceso está limitado a universidades que pagan los altos costos. Sin la posibilidad de acceder a los resultados en el momento en que se publican, será muy difícil promover una investigación competitiva y original. Es además un elemento adicional de inequidad entre estudiantes de instituciones diversas.
- Se propone un programa de excelencia para fomentar la investigación científica en algunos campos que el país considere cruciales y en los cuales tenemos poca capacidad (véase más adelante el apartado "En la primera etapa de nuestras discusiones en el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios se resaltó la gran repercusión que la investigación tiene en el amplio espectro de las actividades humanas, en todos los niveles de educación, la capacitación de profesores, la divulgación de la cultura y sus valores humanos en la sociedad, el desarrollo e innovación en tecnología y la solución de problemas que nuestro planeta y

medio ambiente enfrentan actualmente." con la propuesta de Serge Haroche). Este programa consistiría en la escogencia de esos campos y en ellos la selección de jóvenes estudiantes con cualidades excepcionales a quienes debe asegurarse un financiamiento de largo término que incluya sus estudios doctorales, un posdoctorado en un laboratorio reconocido mundialmente en la frontera del conocimiento en su tema, y que tenga asegurado además el retorno a una universidad o institución de investigación colombiana, con recursos iniciales suficientes para montar un laboratorio básico e iniciar su investigación.

- Según las estadísticas de la Superintendencia de Industria y Comercio, en 2019 en Colombia los residentes apenas solicitaron 422 patentes, una cantidad muy baja en comparación con el mundo desarrollado. Entonces, para capacitar adecuadamente a nuestros investigadores y para lograr avanzar, necesitamos promover las patentes. No se puede seguir hablando de innovación sin vincularla a una patente. Es necesario establecer entornos donde la innovación, la investigación y la creación se conviertan en una patente.

Medidas para generar impacto en la calidad de la educación

La calidad de la educación es fundamental para que esta se constituya en una verdadera fuente de realización y satisfacción individual, así como en un factor de equidad y movilidad social. Una educación de baja calidad es un obstáculo y una desventaja para las personas. En nuestras consultas y reflexiones abordamos varias medidas posibles que pueden mejorar la calidad de enseñanza en ciencias básicas:

- Es necesario construir instrumentos administrativos que armonicen las iniciativas de los Ministerios de Educación y de Ciencia, Tecnología e Innovación. La investigación científica debe influir en todos los niveles educativos. Por tanto, es absolutamente

indispensable que los dos ministerios se comuniquen y desarrollen planes conjuntos y acciones coordinadas.

- Es importante construir redes de educadores y de instituciones educativas. Si bien algunas pueden surgir en forma espontánea, el MEN debe promoverlas y apoyarlas pues es el responsable de las acciones educativas del Estado. Eso hará más eficientes las inversiones en el campo, expandirá la fuerza de la diversidad que es un gran patrimonio nacional, y promoverá el avance armónico de diferentes niveles y distintas instituciones.
- Crear una instancia dentro del sistema educativo para la conciliación de los currículos de ciencia en los niveles de preescolar, básico, medio, secundario y superior. Uno de los problemas detectados es un aparente divorcio entre los diferentes niveles. El nivel de educación superior (tanto pregrado como posgrados) tiene conocimientos más profundos y visiones más complejas, que si fueran compartidos necesariamente redundarían en la mejora de los otros niveles.
- Hay que establecer programas bien financiados y de largo término que promuevan la cooperación y la movilidad nacional e internacional de maestros, profesores y estudiantes. Si bien diferentes instituciones tienen programas propios, es necesaria una clara iniciativa de carácter nacional.
- Diseñar los objetivos educativos según niveles: para educación básica hay que desarrollar curiosidad sobre la naturaleza y la tecnología; para la secundaria una visión científica del mundo y capacidades complejas de raciocinio y de uso de representaciones múltiples.
- Es importante ofrecer vías alternativas para educación en ciencias. Puede haber líneas más profundas para quien se interese por una carrera científica o técnica, pero también debe ofrecerse en los programas un contenido básico de ciencias, para quien no escoge una carrera en estas disciplinas. Así como es imperativo que los estudiantes de ciencias naturales tengan formación social y humanística, así también es indispensable para el buen ciudadano tener una formación básica en ciencias naturales.

- Entre los múltiples problemas relacionados con la internacionalización y la conexión con el mundo, se hace necesaria una normatividad muy ágil para la validación de títulos y establecimiento de equivalencias internacionales.

Medidas para promover la equidad en el acceso a la educación

Los objetivos de lograr un mayor desarrollo social, económico y cultural a través de la ciencia, y formar ciudadanos morales y felices gracias a la educación no son posibles sin una política decidida de promoción del acceso igualitario a la educación en todos sus niveles, desde la primera infancia hasta los posgrados más sofisticados. No todo el mundo quiere o puede acceder a estudios universitarios, pero se debe tratar de lograr que todo aquel que pueda y quiera, tenga la posibilidad de acceder a ella independientemente de su situación financiera. Por otro lado, la educación de primera infancia, básica, secundaria y media deben ser universales. Pensamos que las siguientes iniciativas pueden ayudar a mejorar el acceso a la educación:

- Hay grandes problemas de disparidad regional en educación en general, pero son mucho más graves en matemáticas, ciencias naturales, enseñanza de una segunda lengua, sistemas y nuevas tecnologías. Somos conscientes de que hay programas gubernamentales que abordan el problema, y esperamos que algunas de las recomendaciones que hemos hecho en este documento tendrán efecto en disminuir esa inequidad. Pero, de todas maneras, pensamos que hay que hacer explícito el problema y situarlo como prioridad máxima para el sistema educativo colombiano.
- Es necesario que se considere un cambio en los sistemas de admisiones de las instituciones de educación superior para compensar desigualdades que vienen desde la educación básica y media, y que son responsabilidad del Estado. Aunque en Colombia no se ha instituido formalmente, es hora de discutir en la sociedad

y en el Gobierno la posibilidad de establecer algunas acciones afirmativas que compensen inequidades étnicas, de género y regionales.

- Es necesario robustecer la educación pública. Hay que lograr coberturas totales en primera infancia y en educación secundaria y media (en básica ya se logró), y llegar a las metas previstas de 80 % de cobertura en educación superior para el 2030. Es un esfuerzo de toda la sociedad que exige a las instituciones públicas y privadas, pero es especialmente importante fortalecer a la educación pública, pues la población más pobre todavía tiene un acceso insuficiente. Para un crecimiento de esta magnitud en cobertura educativa es indispensable pensar en la creación de nuevas instituciones de educación públicas y en un crecimiento correspondiente de la inversión estatal.
- Junto con el aumento en la cantidad de instituciones de educación es necesario que crezca el sistema de acompañamiento a los estudiantes, y en los casos de aquellos con pocos recursos el Estado y las regiones deben financiar otras necesidades además de la matrícula. Sin esas inversiones que garanticen la equidad no habrá más que declaraciones retóricas.
- Las nuevas metodologías didácticas son un instrumento que puede mejorar la calidad y que pueden ser decisivas para mejorar la equidad, sobre todo llevándolas a los entornos rurales y dispersos. La producción de textos apropiados y de programas interactivos, combinados con una buena conectividad serían un apoyo invaluable a esos maestros aislados, y un medio para proveer aquellos materiales para los temas en los que ellos no están capacitados.

Medidas para promover el impacto de la educación en ciencias en la sociedad en general

La educación en ciencias es importante para que la sociedad progrese, pero también para que esta reconozca la importancia de la investigación científica. De nuestras consultas y reflexiones se derivaron varias recomendaciones:

- Es necesario que los centros e institutos de investigación existentes y que se creen en el futuro puedan acreditarse para realizar tesis de doctorado y maestría, en asocio con universidades. Algunos de estos centros de alto nivel deben estar enfocados en problemas, no en disciplinas, para fomentar la transdisciplinariedad, que es una necesidad moderna tanto en investigación como en educación. La propuesta consiste en crear centros e institutos de investigación reales, no virtuales, ni en la simple asociación de grupos existentes.
- Adicionalmente es necesario tener un programa de apoyo financiero continuo para los centros autónomos de excelencia, que han trabajado y sobrevivido en Colombia casi de milagro. Esos centros tienen un impacto significativo en el desarrollo científico y también en la educación de alto nivel, y podrían acoger a muchos científicos jóvenes que quieren investigar. Infortunadamente, la discontinuidad en los financiamientos y la política precaria de cobertura de gastos indirectos por parte de los proyectos nacionales los tienen permanentemente al borde del colapso.
- Es indispensable construir un plan de retorno para egresados colombianos de doctorados en el exterior, y para extranjeros que quieran vincularse a instituciones colombianas. Estos planes deben contemplar algunos estímulos económicos como exención de impuestos de ingreso de menaje doméstico y ofertas de trabajo adecuadas al nivel académico logrado, además de facilidades en procesos burocráticos.
- En el país las relaciones entre empresa, Universidad y Estado no han sido fáciles. Es importante promoverlas con programas de apoyo económico directo, así como aumentando las pasantías de estudiantes en las empresas. Para construir una cultura de

invención e innovación son indispensables los capitales de riesgo. Es necesario estudiar las normas de inversión pública que tratan al riesgo como un delito.

- Nos parece importante desarrollar programas de educación general para el público mejorando la comunicación del conocimiento en la sociedad. Entre estos programas se propone: 1) crear cátedras de ciencia y de estadística que puedan ser compartidas por todas las facultades de periodismo y comunicación social; 2) promover y apoyar con recursos nacionales y de regalías la construcción de planetarios y museos en regiones del país que no los tienen; y 3) generar un sistema de educación continua en ciencia para periodistas y que el Gobierno apoye a la institución educativa que esté dispuesta a abrir una especialización en periodismo científico.
- Por último, será necesario buscar la forma de imprimir una dimensión ética a la educación para conseguir gran impacto social. Esto se podrá hacer no solo a través de los currículos en todos los niveles educativos (desde la primera infancia), sino también mediante seminarios itinerantes financiados por el MEN, publicaciones científicas, filosóficas y literarias y creaciones artísticas, todo con gran apoyo de universidades, investigadores y escuelas de periodismo y comunicación social.

Formación científica para jóvenes

Serge Haroche[4]

En la primera etapa de nuestras discusiones en el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios se resaltó la gran repercusión que la investigación tiene en el amplio espectro de las actividades humanas, en todos los niveles de educación, la capacitación de profesores, la divulgación de la cultura y sus valores humanos en la sociedad, el desarrollo e innovación en tecnología y la solución de problemas que nuestro planeta y medio ambiente enfrentan actualmente.

En los últimos cincuenta años hemos observado que los países que tienen un mayor desarrollo económico son los que, de manera continua y considerable, han invertido en la educación y la ciencia. Estamos convencidos de que, para lograr un verdadero éxito, el esfuerzo en estas áreas debe ser constante en un periodo a largo plazo y resultado del compromiso duradero del Gobierno, independientemente de los cambios políticos, ya que, en comparación al periodo requerido para avances en los campos de la ciencia y la educación, los ciclos de gobierno son muy cortos. Para construir la confianza necesaria entre las autoridades políticas y las comunidades científicas y académicas es esencial la creación de una ley de planeación que reúna los propósitos que el país busca cumplir en las áreas de investigación y educación, junto con los recursos que pueden comprometerse por los próximos 10 a 15 años.

Al ser un extranjero que nunca ha trabajado permanentemente en este país, me es imposible hacer sugerencias puntuales sobre cómo mejorar la situación actual en Colombia, en materias de ciencia y educación. En primer lugar, es necesario partir de una evaluación de la situación actual para concretar un plan realista, teniendo en cuenta la situación social y económica que enfrenta el país. Por otra parte, en mi país, Francia, el estado

4 Premio Nobel de Física 2012, profesor emérito del Collège de France y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

de materias en investigación, desarrollo y educación, lejos de ser completamente satisfactorios, son muy diferentes al colombiano, por lo que no estoy en la posición de dar consejos que estarían basados únicamente en mi experiencia francesa.

Sin embargo, existe un aspecto de investigación científica que conozco y que Colombia puede implementar para lograr progresos significativos: la ciencia es internacional. Ningún país puede lograr un avance en este campo sin colaboración de otros países. La participación en el flujo de ideas global permite el desarrollo de la ciencia, los descubrimientos importantes y el trabajo eficaz por parte de los científicos. Cualquier plan para mejorar este progreso en Colombia debe tener una dimensión internacional. Al respecto, considero que puedo hacer algunas sugerencias útiles a mis colegas colombianos.

En todos los países de excelencia científica, en algún punto de su carrera los estudiantes se sienten llamados a ampliar su experiencia, fomentar su creatividad y conocer otras maneras de hacer ciencia en intercambios con otras universidades en su país o en el extranjero. Estos intercambios científicos son impulsados en Europa por programas como el Erasmus y las becas Marie Curie. En países de economía emergente como India y China también se han desarrollado programas de intercambio académico en el que participan un gran número de estudiantes y especialistas.

Esta estrategia trae grandes beneficios, pues cuando los estudiantes regresan son capaces de contribuir al desarrollo de la ciencia, lo que genera grandes beneficios y ventajas para su país; en cambio, si los estudiantes permanecen en el exterior el país de procedencia desperdicia sus recursos humanos y solamente el país anfitrión se beneficia. Esta situación se presenta a gran escala en Colombia: sus brillantes científicos deciden permanecer en países de Europa o en Estados Unidos debido a que en el país no hay garantías para llevar a cabo investigaciones independientes y competitivas, además de la incertidumbre que enfrentan sobre la investigación científica a largo plazo. Para cambiar esta situación, propongo un programa ambicioso que busca la formación de científicos jóvenes y especializados en el extranjero, que les garantiza el apoyo suficiente para impulsar sus carreras cuando regresen al país, siempre y cuando logren los objetivos formulados.

Este programa debe dirigirse a estudiantes de pregrado, maestría y doctorado. Las universidades colombianas y las instituciones académicas deben seleccionar un grupo de estudiantes que trabajen en áreas que deseen desarrollar a nivel de maestría o doctorado. Será trabajo en conjunto de las universidades nacionales y extranjeras determinar el número de beneficiarios, así como la selección inicial. El progreso de los estudiantes en el extranjero debe contar con el seguimiento de mentores en ambas universidades, quienes estarán encargados de ayudarlos en la adaptación y en prestar apoyo ante cualquier eventualidad.

Los estudiantes colombianos que finalicen su doctorado deben recibir asesoría para elegir la posición posdoctoral que más les convenga, ya sea en el mismo país o uno diferente. Al final de su estancia, así haya iniciado el intercambio en pregrado o maestría, el estudiante debe evaluar la calidad de su trabajo y cumplir con los estándares de excelencia internacional. Si supera esta evaluación, una universidad colombiana o un instituto de investigación deberá acogerlo, brindarle los fondos necesarios para la puesta en marcha de sus proyectos, así como el apoyo para la construcción de un laboratorio, si es necesario, y, además, puede ofrecerle la posibilidad de convertirse en investigador principal y dirigir a los estudiantes de maestría sobre sus propios proyectos de investigación. El proceso debe funcionar como un tipo de contrato condicionado entre el Gobierno colombiano, las instituciones extranjeras de acogida y los jóvenes científicos. El Gobierno colombiano debe comprometerse a respaldar la capacitación de los estudiantes en el exterior y, si su evaluación es exitosa, brindar un soporte económico a las universidades colombianas que eventualmente contratarán a los científicos.

Un programa de esta magnitud necesitará de varios años antes de que se complete. Un estudiante que inicia un doctorado en el extranjero permanecerá alrededor de 7 a 8 años antes de completar su investigación y volver a Colombia. Por otro lado, si el joven científico ya tiene un doctorado en Colombia y ha ido al extranjero solamente por sus estudios posdoctorales, el periodo sería de 3 a 4 años. De igual manera, desde el regreso de los científicos a Colombia, se necesitarán otros 3 a 5 años antes de que los investigadores sean científicamente productivos en las universidades

locales. Por lo cualel compromiso del Gobierno a largo plazo es esencial para que el programa sea exitoso.

Soy consciente de que hay muchos factores que deben ajustarse en las estructuras académicas y gubernamentales colombianas para que este programa se pueda desarrollar. El ejemplo de los avances hechos por otros países que adoptaron medidas similares debe ser un estímulo para comenzar este programa en el territorio colombiano. Varias de las principales investigaciones en universidades chinas, indias, israelíes y surcoreanas se han llevado a cabo en estos programas de intercambio, antes de ejecutarse exitosamente en sus propios países. Este caso también se evidencia en Brasil, donde muchos equipos de jóvenes investigadores fueron creados como resultado de estos programas, hace cerca de 15 años, cuando el país hizo un gran esfuerzo en el desarrollo de su investigación científica.

Antes de que este programa pueda comenzar, se deben resolver varios inconvenientes. Debe discutirse el número de cargos, los campos del conocimiento que podrían presentar propuestas, la selección de los estudiantes y su evaluación final. La cantidad de fondos con los que el Gobierno colombiano podría comprometerse para este programa debe ser evaluado y puesto en contexto con los esfuerzos requeridos para satisfacer las otras necesidades resaltadas por la Misión de Sabios, principalmente para mejorar el nivel general de educación en Colombia. Como extranjero, no soy competente para discutir estas problemáticas, que deben tener una dirección realista por parte de mis colegas colombianos y por las autoridades colombianas.

Costos estimados de la propuesta[5]

Esta sección presenta un estimado de los costos que puede tener un programa inicial como el propuesto. Los costos están basados en las siguientes premisas:

5 Esta sección ha sido preparada con apoyo de la Decanatura de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

1. El programa inicia con la formación en doctorado, continúa con el posdoctorado y una beca al regreso a Colombia en una universidad o centro de investigación.
2. Para un doctorado el tiempo mínimo será de 3 y el máximo de 5 años.
3. Habrá un incentivo adicional del 20 % para investigadores casados.
4. Para el posdoctorado el tiempo será de máximo 3 años.
5. Al regreso de los investigadores se tendrá una admisión especial al programa en las universidades o centros de investigación.
6. Habrá una beca de investigación por un máximo de 5 años para el desarrollo de un proyecto en la institución nacional.
7. Los valores están dados en dólares americanos.
8. El valor estimado es el máximo.
9. En el programa inicial se contará con 20 profesionales.
10. El valor máximo es calculado para el caso de un matrimonio profesional con un tiempo máximo de 5 años como estudiante de doctorado, 3 años como investigador de posdoctorado y 5 años de beca de retorno.

Para 20 profesionales, el costo máximo inicial es de 13 960 000 USD distribuidos en un término máximo de 13 años.

Actividad	Valor anual (USD)	Valor máximo total (USD)
Gastos anuales de doctorado	24 000	120 000
Gastos anuales en caso de matrimonio en doctorado	29 000	145 000
Gastos de matrícula de doctorado	25 000	125 000
Gastos del viaje del doctorado	3000	15 000
Total de gastos de doctorado (Máximo)	52 000	260 000
Gastos anuales de posdoctorado	35 000	105 000
Gastos anuales para el caso de matrimonio en posdoctorado	42 000	126 000

Tabla 1. Costos estimados de un programa de formación científica en jóvenes. Las actividades cubren desde el inicio del doctorado hasta el retorno al país para desarrollar un programa de investigación en Colombia, después de una estancia posdoctoral.

Actividad	Valor anual (USD)	Valor máximo total (USD)
Gastos de viaje en posdoctorado	4000	20 000
Total de gastos en posdoctorado (Máximo)	46 000	138 000
Subvenciones	60 000	300 000
Total	158 000	698 000

El papel de las universidades en la ciencia, la tecnología y la innovación: una mirada al pasado y al futuro[6]

Moisés Wasserman Lerner[7]

Para el desarrollo de la CTEI se debe tener en cuenta el rol que ha jugado la Universidad en el mundo y en Colombia. Las conversaciones y discusiones de la Misión de Sabios se han dado bajo la premisa de que la Universidad colombiana tendrá un papel dominante en su desarrollo futuro, como lo ha tenido en el pasado. Es posible que el papel tan protagónico de la Universidad en el pasado se haya debido a una relativa debilidad de otros ámbitos de generación de conocimiento en nuestro sistema. En un futuro, sin perder su papel protagónico, sin duda deberá tener una conversación activa con centros e institutos de investigación, tanques de pensamiento, grupos de estudio, y organizaciones diversas y heterogéneas que participan en el esfuerzo.

La Universidad es uno de los grandes legados de la Edad Media. Nació como una institución social donde los que quieren aprender y los que están dispuestos a entregar su saber se reúnen en torno a acciones como dar, recibir, investigar y crear conocimiento. En los últimos dos siglos ha adquirido una gran relevancia ese papel de generadora de conocimiento y el de apoyo directo para la solución de los problemas de la gente. Además,

6 Parte de las propuestas presentadas en esta sección han sido expuestas en *Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación,, 2020).

7 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

pasó de ser una institución para pequeñas élites intelectuales a otra democrática, abierta, que atiende a las mayorías y que promueve la equidad y la movilidad social.

Por lo anterior, la Universidad tiene hoy una relevante influencia en la vida social, pues condensa toda la construcción de conocimiento, el discurso autónomo, la democracia y la libertad. Es una institución humanista, gestora, protagonista y participante de los sucesos de la educación, del desarrollo social y económico, así como de los progresos científicos, culturales y humanos de la sociedad.

En Colombia la evolución de la Universidad ha sido parecida. Por ley es una institución sin ánimo de lucro independientemente de si es pública o privada. La educación superior es un servicio público según la Constitución del país. En Colombia el sistema público y el privado son de tamaños parecidos, y en buena medida enfrentan retos y problemas similares. Hacia el futuro, los esfuerzos deberán ser coordinados y aditivos con miras a conseguir una cobertura del 80 % para el 2030, que es la meta del actual Plan Decenal de Educación. Por otro lado, es indudable que la ciencia y la tecnología jugarán un papel cada vez más importante en el proceso educativo, al tiempo que la Universidad debe seguir generando conocimiento a través de la investigación y la creación.

Actualmente la relevancia de la Universidad en el país se observa a partir de diversas e importantes cifras:

Según el Sistema Nacional de Información en la Educación Superior(SNIES), entre 2001 y 2018 la población de graduados en todos los niveles de educación superior creció en un 340 % (pasando de 138 658 a 482 122 graduados); mientras que, según el DANE, la población del país creció 120 %. Este es un hecho de gran relevancia no solo por el crecimiento de la masa crítica capaz de generar conocimiento y utilizarlo a favor del desarrollo, sino por ser una de las más significativas estrategias de ascenso socioeconómico para la población.

Las bases de datos académicas muestran que en las universidades se produce más del 95 % de las publicaciones científicas y una proporción aún mayor de las patentes aprobadas.

Es en las universidades donde labora más del 90 % de los doctores formados dentro y fuera del país y donde se concentra el 87 % de los grupos de investigación.

Según datos de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología, cerca del 20 % del total de la inversión en investigación y desarrollo en Colombia proviene de recursos propios de las instituciones de educación superior, siendo la segunda fuente más importante en el país.

La Universidad en Colombia además contribuye de manera especial a la investigación en los campos de las ciencias sociales, las humanidades, la creación artística y cultural. Hay importantes contribuciones a la historia, a la antropología, la economía, la psicología, la pedagogía, la literatura, la música y el arte. Es decir, la contribución de la Universidad en Colombia desde el ámbito de la investigación y la creación artística y cultural es amplia y significativa, y no se limita exclusivamente a las "ciencias duras" y a la tecnología.

Además, la Universidad es un gran centro de producción y transmisión de conocimiento, y el sitio desde el cual el impacto de ese conocimiento irradia a toda la sociedad. La Misión de Sabios ha hecho gran énfasis en el futuro desarrollo de dinámicas empresariales y universitarias conjuntas que retribuyan al entorno todo lo que este les ha entregado a través de transferencia y uso del conocimiento. Es importante resaltar, además, que en Colombia se ha dado una internacionalización de la generación de conocimiento que ha permitido la vinculación a diversas e importantes redes científicas.

Por todo lo anterior, las universidades están llamadas a seguir impulsando el desarrollo de la ciencia, a proponer las preguntas que la sociedad requiere y a trabajar en las respuestas que la humanidad demanda. Los sistemas CTeI son inconcebibles sin las plataformas universitarias, cualquiera que hayan sido o sean sus vocaciones anteriores en la historia. Las universidades deben contribuir al fortalecimiento de los centros autónomos para consolidar un sistema general de ciencia y tecnología que transfiera el conocimiento a la sociedad. La Universidad debe asegurar la formación del talento que necesita el ecosistema de investigación del país.

Desde el reconocimiento de las funciones misionales de la Universidad el papel de esta es transversal a los procesos de desarrollo de ciencia, tecnología e innovación. La interacción de la Universidad en el sistema de CTeI se da en diferentes etapas: desde la *ciencia básica*, pasando por la *investigación aplicada*, *el desarrollo tecnológico* y el *desarrollo de prototipos*. Hoy es frecuente en el mundo que desde las universidades surjan también empresas de alto contenido científico y tecnológico, que terminan fortaleciendo a la misma Universidad en un círculo virtuoso.

Varias fuentes de información indican que las etapas de ciencia básica y aplicada dependen en gran parte del conocimiento que se genera en las universidades a través de los investigadores y sus grupos o por medio de las estructuras de diversos tipos en las que estos se organizan. En la etapa en que las actividades se centran en lograr reproducibilidad de los resultados a escala experimental o en laboratorio, de nuevo es clave el papel de las universidades, las cuales pueden actuar en una red donde se pongan a disposición el recurso humano y las más avanzadas técnicas instrumentales y analíticas, para aplicar el conocimiento generado, a través de la conceptualización de tecnologías o la solución de problemas del contexto. En las etapas finales caracterizadas por los procesos de innovación y de transferencia, son también, en muchos países del mundo, escenarios de transformación. En este caso los múltiples emprendimientos que se generan en ellas se dan en forma de empresas *spin-off* y *startup* ('derivadas' y 'emergentes'), que son posibles y generan el ciclo virtuoso entre la generación de conocimiento, la aplicación de ese conocimiento, las tecnologías que se generan y su aplicación. En estos niveles de alta capitalización, es vital la inyección de recursos privados, por ejemplo desde fondos privados de capital de riesgo medio o bajo, que permiten esencialmente el escalado y masificación de las tecnologías.

Para proyectar este papel de la Universidad a futuro, la Misión de Sabios sugiere que lo primero y más importante es el fortalecimiento del rol que tienen las universidades en la generación de conocimiento, y esto implica necesariamente la necesidad de diversificación de las fuentes de financiación en el sistema CTeI, incluyendo el sector y la banca privadas.

Es necesario, además, considerar que la investigación realizada por la Universidad no se da exclusivamente en el ámbito de las ciencias básicas y aplicadas, sino también en el ámbito de las ciencias humanas y de la creación artística y cultural, y que estas áreas del conocimiento también requieren de una recomposición de la financiación, así como de nuevas y mayores fuentes de recursos. A pesar de todos los cambios que están ocurriendo en el mundo, es necesario que prevalezca el rol primigenio de las universidades de generación de conocimiento nuevo y autónomo, de ampliar la mente y construir mejores sociedades, pero también que se preserve y se fortalezca. La Universidad es, sin duda, la institución que por excelencia podrá humanizar y mantener una mirada crítica y ética a los vertiginosos avances científicos y tecnológicos de los años por venir.

Otras recomendaciones de la Misión son:

- Adoptar las metodologías de la investigación orientada por la curiosidad y la investigación orientada por misiones, trabajando bajo el enfoque de retos, con la participación de múltiples actores, y con trabajo académico interdisciplinario e intersectorial.
- Transformar y fortalecer una parte importante de los centros de investigación ya existentes para que exista un mayor acceso a la infraestructura y los servicios científicos y tecnológicos altamente cualificados, que estén abiertos a los diversos actores del sistema CTeI.
- Incluir en el aprendizaje el desarrollo de las habilidades (mal llamadas) *blandas* y *durables* -en el sentido de que no se tornen obsoletas ante los cambios tecnológicos-. Esta será una tarea crucial de todo el sistema educativo. Al mismo tiempo, temas como el alfabetismo digital y de datos, el pensamiento computacional, las habilidades STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas) y la comunicación efectiva en una segunda lengua deben convertirse en competencias esenciales para contribuir de manera efectiva al desarrollo de nuestro país.
- Educar en las aulas y formar en los campus son labores propias de la dimensión cultural y de la creación artística que debe tener la Universidad, por lo cual esta institución debe propiciar en adelante esos espacios para enriquecer la vida de sus estudiantes.

De no hacerlo se empobrecería la idea de Universidad y podrían divorciarse, sin sentido y con impacto negativo, los conceptos de cultura y de la propia institución.

- Por último, se deben estudiar y analizar la incidencia, los impactos y los avances de la ciencia en el país de manera permanente. A pesar de tratarse de una misión que la Universidad siempre ha tenido, se debe reforzar esa posición crítica frente a la incidencia e impacto que tiene el desarrollo científico sobre otros ámbitos de la vida nacional.

Propuestas en ciencias básicas

Las ciencias básicas marcan el eje central de las propuestas presentadas, cubriendo temas que van desde la importancia que Colombia participe activamente en la segunda revolución cuántica que está desarrollándose al mismo tiempo que la Misión de Sabios, pasando por el impacto de las ciencias básicas en el medio ambiente, la cultura y el conocimiento. Finalmente se propone la creación de un modelo de institutos sectoriales de investigación por demanda, que permitirían impulsar la innovación para apoyar el crecimiento de la industria en el país, incrementando los lazos entre la academia y la industria.

Las propuestas presentadas buscan cubrir parte de los tópicos presentados en la sección "Justificación y alcance", estos son:

- La cultura y el conocimiento general.
- El desarrollo tecnológico y la innovación.
- La investigación aplicada y la solución de problemas concretos.
- El medio ambiente.

Colombia necesita reaccionar a la segunda revolución cuántica

Ana María Rey Ayala[8]

La segunda revolución cuántica ya es un hecho. A nivel mundial se están haciendo grandes inversiones en ciencias básicas, educación e industria para el desarrollo de tecnologías cuánticas. Colombia necesita darse cuenta de la importancia de estos cambios y reaccionar inmediatamente para participar de los beneficios de esta revolución y, así, asegurar su independencia y prosperidad. Este texto presenta los esfuerzos e inversiones mundiales en tecnologías cuánticas, explica por qué es importante actualizarnos y sugiere un posible plan estratégico.

Introducción y antecedentes

El comienzo del siglo xx fue testigo del nacimiento de la mecánica cuántica, teoría que rigió la explicación del comportamiento del mundo microscópico. La mecánica cuántica unificó la mecánica clásica y el electromagnetismo con el argumento de que las partículas no siempre se comportan como tales, sino que también lo hacen como ondas. Al mismo tiempo, se demostró que la luz viene en pequeños paquetes o *quanta* de energía, conocidos como fotones. Gracias a la mecánica cuántica entendemos por qué los elementos en la tabla periódica siguen el patrón que los rige, por qué un elemento dado solamente absorbe y emite luz en determinadas frecuencias y por qué algunos materiales conducen electricidad y otros no. La mecánica cuántica abrió un nuevo capítulo en la historia del conocimiento humano, que cambió la

8 Doctora en Física de la University of Maryland, College Park, profesora de la University of Colorado Boulder, Estados Unidos, y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

manera en la que concebimos el mundo. Les dio a los científicos los medios para entender los semiconductores y los guió a la creación del transistor, conjunto de interruptores minúsculos que, cuando se emplean en circuitos integrados, son el ingrediente básico para los computadores que conocemos, así como para la electrónica moderna. De igual forma, cambió la manera en que interactuamos con la naturaleza, abriendo posibilidades impensables para la concepción del mundo de la mecánica clásica, incluyendo el desarrollo de tecnologías como los láseres, superconductores e imágenes de resonancia magnética (IRM), imágenes que ayudan a los médicos a estudiar en forma detallada la anatomía interna sin recurrir a la nociva radiación. Actualmente, nos referimos a este primer proceso revolucionario, presentado por la mecánica cuántica, como la primera revolución cuántica.

En la primera revolución cuántica (quantum 1.0) se usó la mecánica cuántica para entender lo que ya existía y aplicar esas herramientas existentes para avanzar en nuestra tecnología. Ahora es tiempo de usar las propiedades cuánticas no solamente para materiales reales, sino para diseñar en el laboratorio materiales cuánticos sintéticos con propiedades que superen las capacidades de los materiales naturales. Es hora de crear tecnologías poderosas y avanzadas con capacidades imprevistas. Queremos aprovechar la mecánica cuántica para manipular nuestro mundo físico y crear estados cuánticos útiles para propósitos específicos. Por ejemplo, durante la primera revolución cuántica fuimos capaces de explicar la tabla periódica, pero no de diseñar y construir nuestros propios átomos. Ahora queremos construir átomos artificiales en el laboratorio. Con quantum 1.0 pudimos explicar cómo se comportan los semiconductores y usarlos para construir dispositivos modernos; y ahora, en quantum 2.0, queremos manipular su comportamiento.

Estos nuevos materiales cuánticos hechos por el hombre tendrán novedosas propiedades con extensas aplicaciones que influyen en el desarrollo de computadores, sistemas de comunicación, sensores y dispositivos metrológicos compactos. En cada una de esas aplicaciones, la tecnología cuántica podría aportar mejoras revolucionarias en términos de capacidad, sensibilidad y velocidad, lo que sería un factor decisivo para el éxito en muchas industrias y mercados.

Desde el 2010, algunos Gobiernos como el de Estados Unidos, la Unión Europea, China, Singapur, Canadá, Australia y compañías mundiales como Google, Microsoft, Intel, Toshiba e IBM están invirtiendo sustancialmente para explorar las tecnologías cuánticas. Conozcamos un poco más sobre las tecnologías cuánticas y por qué son tan importantes.

La comunicación es uno de los aspectos que definen la vida moderna. Cada minuto, cientos de terabytes de información son intercambiados en todo el mundo por medio del internet. Sin embargo, la privacidad es una cuestión importante, pues, seguramente nos gustaría que nuestros mensajes o los datos de nuestra cuenta bancaria permanezcan privados. Sucede que con la tecnología cuántica seremos capaces de crear una red en la que personas con malas intenciones no podrán acceder a información privada. La comunicación cuántica nos promete la posibilidad de compartir información de una manera *completamente segura*. El punto es que las primeras demostraciones experimentales de comunicación cuántica ya están sucediendo y estamos comenzando a construir una primera versión de internet cuántico. Por ejemplo, en un experimento reciente, científicos chinos y austriacos demostraron cómo usar un satélite para intercambiar información cuántica segura entre Pekín y Viena.

Entre las aplicaciones claves que le sirven a diferentes aspectos de la sociedad tenemos la capacidad de navegar, coordinar o recetar de manera efectiva. Por ejemplo, los relojes atómicos son el corazón del sistema de posicionamiento global (GPS), usado para la navegación, los teléfonos inalámbricos y la red de datos. Cada uno de los 24 satélites GPS tiene cuatro relojes atómicos a bordo. Sin embargo, cabe anotar que esos relojes atómicos son operados con átomos independientes, que son fundamentalmente imprecisos. El siguiente paso es aprender cómo "enredar" cuánticamente los átomos en el reloj para hacer medidas de precisión que antes pensábamos imposibles.

Por último, pero no menos importante, está la idea de construir un computador que opere con los principios de la mecánica cuántica. Empresas gigantes como Google, IBM y Microsoft son conscientes de su potencial y están contratando científicos para construir su propia computadora cuántica. Estas máquinas prometen superar en muchas tareas a los supercomputadores clásicos.

Por lo tanto, aunque la mecánica cuántica ha madurado completamente como ciencia, el próximo reto es facilitar la adopción de tecnologías cuánticas para toda la sociedad. Para beneficiarse de estos nuevos desarrollos se necesita estar en el lugar y tiempo correctos. Si Colombia quiere mantenerse como un país independiente y activo, y ser parte de una industria cuántica global, necesita ser parte de la segunda revolución cuántica. La única manera de hacerlo es invirtiendo ahora en la ciencia básica y en la educación, con el objetivo de alcanzar excelencia en ciencia e ingeniería. Colombia no puede dejar pasar la oportunidad de ser parte de la segunda revolución cuántica, ahora que tiene la oportunidad de comenzar a crear una industria competitiva que le asegurará su prosperidad y seguridad a largo plazo.

Metodología

Desde el 2010, varios Gobiernos han establecido programas para explorar tecnologías cuánticas. En 2016, más de 3400 científicos firmaron el *Quantum manifiesto (Manifiesto cuántico),* (Quantum Flagship, 2016), que permite una coordinación entre la academia y la industria para impulsar la tecnología cuántica en estas dos áreas y educar a los profesionales en ciencias básicas, de computación e ingeniería. El *Manifiesto cuántico* solicita a los Estados miembros y a la Comisión Europea ejecutar una iniciativa que llamaron quantum *flagship-scale iniciative* ('iniciativa emblema cuántica') de 1000 millones de euros, la cual comenzó formalmente en el 2019. La figura 4 muestra la línea del tiempo de las actividades del Quantum Flagship (Riedel, Kovacs, Zoller, Mlynek & Calarco, 2019).

La primera parte del Quantum Flagship fue publicada en el otoño del 2017, con un presupuesto total de € 130 millones. En la figura 5 se muestra el número de los proyectos propuestos (izquierda) y seleccionados (derecha) en cada área en la primera convocatoria de Quantum Flagship.

En diciembre del 2018, el presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, firmó la Ley Iniciativa Cuántica Nacional (National Quantum Initiative Act) con un presupuesto de mil millones de dólares al año. Esto demuestra el compromiso de esa administración para mantener

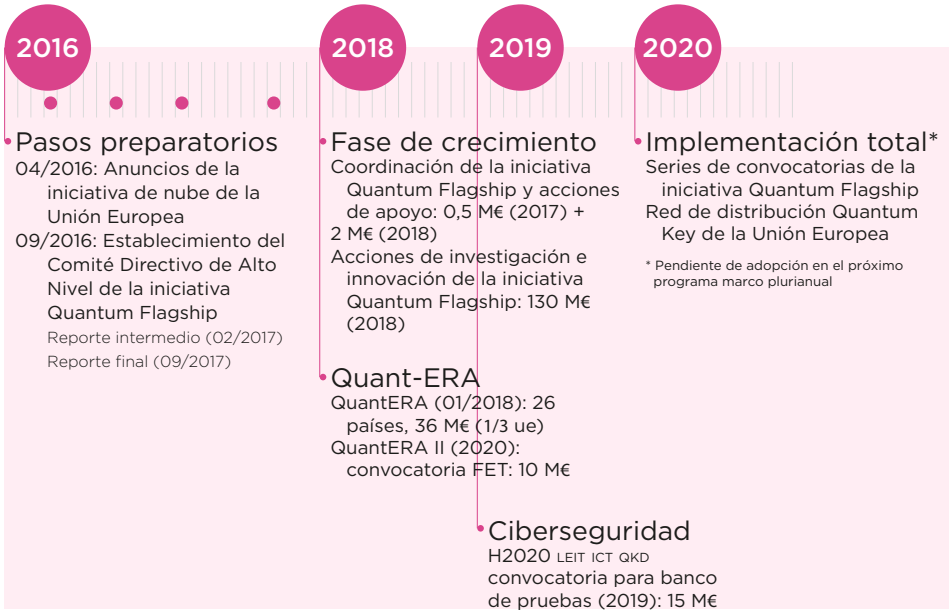


Figura 4. Línea del tiempo de las actividades del Quantum Flagship.
Adaptado de Riedel *et al*. (2019).

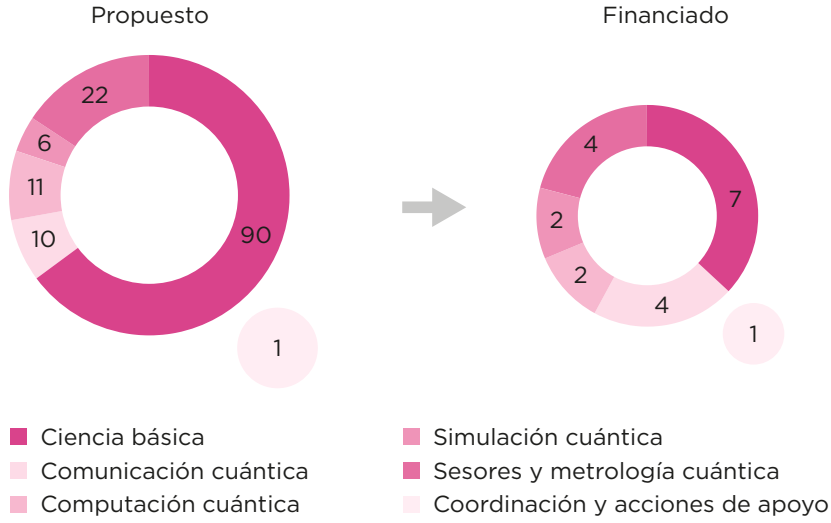


Figura 5. Número de proyectos propuestos (izquierda) y seleccionados (derecha) por área en la primera convocatoria de Quantum Flagship.
Adaptado de Riedel *et al*. (2019).

y expandir el liderazgo estadounidense en la ciencia de la información cuántica (QIS) para fomentar los beneficios a largo plazo y la protección de la ciencia y tecnología creada a partir de esa investigación. Específicamente, las metas son crear una estrategia visible, sistemática y nacional para la investigación de la información cuántica y el desarrollo a diez años enfocado en el desarrollo de procesadores cuánticos que pueden habilitar aplicaciones informáticas prácticamente ilimitadas; nuevos sensores para biotecnología y defensa; sistemas de posicionamiento, navegación y sincronización para la próxima generación para aplicaciones comerciales y militares; nuevos enfoques para el entendimiento de materiales químicos e incluso como unificar la teoría de la relatividad general y la cuántica a través de de la teoría de información cuántica; aprendizaje y desarrollo de nuevos algoritmos para optimización y aprendizaje automático; y la transformación de los sistemas de seguridad cibernética, incluyendo la criptografía cuántica-resistente, como respuesta a los desarrollos en QIS. La estrategia propuesta fue:

1. Escoger un enfoque de "ciencia ante todo" para la QIS, fortaleciendo los fondos federales de programas de investigación de ciencias básicas para financiar pequeños proyectos de investigación así como a centros y consorcios cuando sea necesario. El objeto es garantizar el apoyo a la investigación en QIS a largo plazo.
2. Crear una fuerza de trabajo cuántica-inteligente para el futuro, estimulando a la industria y la academia con el fin de crear estrategias convergentes y transectoriales en el desarrollo de diversas fuerzas de trabajo. Además, animar a la academia a considerar la ciencia y la ingeniería cuánticas como disciplinas en sí mismas, y estimular la creación de nuevas facultades, programas e iniciativas en todos los niveles, asumiendo la educación en el área de la ciencia cuántica en etapas tempranas, que incluya la educación básica, primaria y secundaria.
3. Fortalecer la participación en el mercado de la industria interesada en la tecnología cuántica.

4. Identificar críticamente la infraestructura necesaria e incentivar las inversiones necesarias trabajando con los expertos del gobierno y los demás interesados, así como la industria y la academia.
5. Crear conciencia de las implicaciones en seguridad del cambio en ciencia y tecnología generado por la QIS.
6. Fomentar la cooperación internacional de industrias con objetivos similares y otros aliados gubernamentales, asegurando que los Estados Unidos continúe atrayendo y reteniendo los mejores talentos.

La figura 6 es un resumen del plan estratégico que facilita la colaboración entre la industria, la academia y el Gobierno.

Las leyes nacionales sobre la iniciativa cuántica en Estados Unidos fueron una respuesta parcial a la impresionante inversión en tecnología cuántica y ciencias básicas de China. Este país está construyendo una gran infraestructura a nivel mundial para desarrollar computadores cuánticos

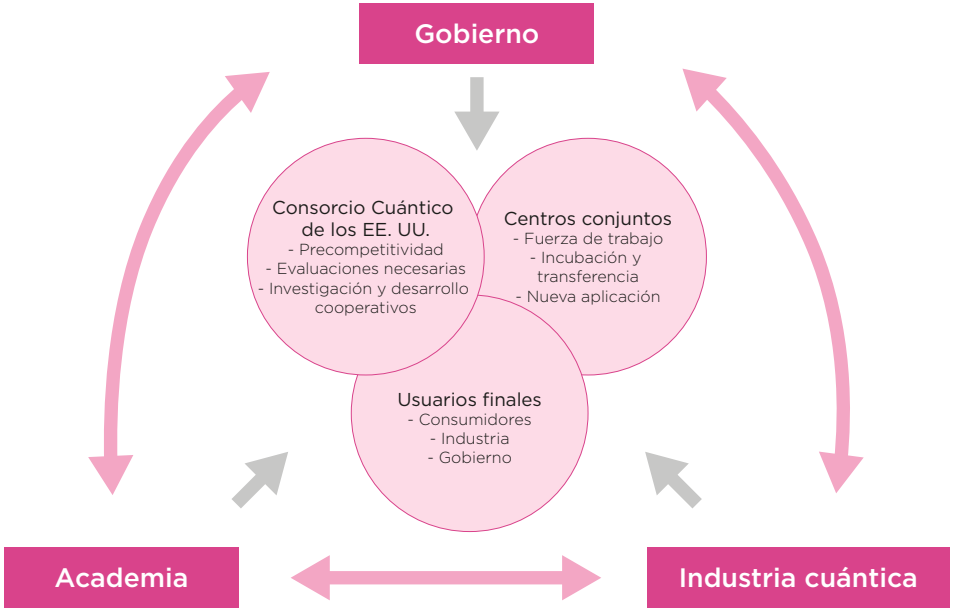


Figura 6. Relaciones entre el Gobierno, la academia y la industria cuántica.

y otras formas revolucionarias de tecnología que, de acuerdo con los científicos y autoridades involucradas en el proyecto, pueden ser usadas en el área militar para el desencriptamiento de códigos o en submarinos encubiertos. En septiembre de 2017, China inició la conexión de cuatro ciudades principales: Pekín, Shanghái, Jinan y Hefei por medio de enlaces de fibra cuántica. La conexión utiliza el satélite chino Micius, que fue el primero en el mundo con comunicación cuántica. Los socios del proyecto incluyen al State Grid Corporation de China y la compañía de suministro de energía del país.

El país asiático se está esforzando por convertirse en el líder mundial de la tecnología cuántica a través de inversiones guiadas a nivel estatal. Estas inversiones pueden llegar a sumar decenas de miles de millones de dólares en los próximos años. En 2016, China lanzó el decimotercer plan de cinco años, un megaproyecto en computación y comunicaciones cuánticas que permitirá alcanzar grandes avances tecnológicos para 2030, incluyendo la expansión de la infraestructura nacional de comunicaciones cuánticas de China, el desarrollo de un prototipo de computación cuántica general y la construcción de un simulador cuántico práctico. China también está construyendo un Laboratorio Nacional de Ciencias de la Información Cuántica, el cual, con una inversión inicial de mil millones de dólares, puede ser el centro de investigaciones y desarrollo del futuro.

Canadá, Australia y Japón también preparan iniciativas nacionales (Riedel *et al.,* 2019). Además de los centros cuánticos, se ha creado un Centro para Tecnologías Cuánticas en Singapur y el QuTech, un centro holandés enfocado en el desarrollo de un computador cuántico que emplea estados topológicos.

Es claro que el mundo está al borde de una nueva revolución cuántica, la cual será responsable de la mayoría de los avances tecnológicos del siglo XXI. Si Colombia no invierte en ciencias básicas ahora, y no se une a estas iniciativas, se quedará atrás y continuará siendo un país subdesarrollado por los próximos años. Ahora es el tiempo de invertir y ser parte de esta fascinante y emocionante iniciativa de la segunda revolución cuántica.

Alternativas políticas y recomendaciones

Primero es necesario ser conscientes de que invertir en las ciencias básicas no es un lujo, es una necesidad para mantener al país en movimiento, y no hay tiempo que perder. Necesitamos invertir ahora, ha llegado el momento para que esto suceda. Además, es de vital importancia el compromiso a un programa de ciencia básica integral en los colegios, enfocado en desarrollar el pensamiento científico y en fomentar las habilidades computacionales. Necesitamos promover la curiosidad en las nuevas generaciones y el interés en la ciencia a temprana edad.

Es imperativo desarrollar no solamente oportunidades basadas en el aprendizaje en el salón, sino también ampliar las conexiones con el público en varias plataformas digitales. Por ejemplo, es necesario invertir en herramientas de educación informal como las que se encuentran en los museos de Colombia.

Las universidades deben fomentar la idea de que las ciencias naturales, la ingeniería y las ciencias de computación son disciplinas de gran importancia en un futuro inmediato y promoverlas entre los estudiantes de pregrado. También deben promover los intercambios y pasantías de los estudiantes en industrias enfocadas en diferentes tipos de tecnologías y fortalecer las conexiones entre las ciencias básicas y la industria, que son cruciales.

El apoyo y la inversión en la investigación son los principales mecanismos para formar personal calificado que le permitirá a Colombia ser parte de la segunda revolución cuántica. Las universidades necesitan entrenar individuos con amplias y variadas habilidades para que las nuevas generaciones de científicos puedan conectarse no solamente con la academia, sino también emplearse en la industria y en los laboratorios de investigación nacionales e internacionales.

Finalmente, necesitamos aprovechar colaboraciones internacionales y desarrollar estrategias para establecer programas de investigación con otros países. Colombia no tiene la capacidad de avanzar por sí sola.

Implementación y próximos pasos

1. *Capacitar a toda la población en ciencias básicas*. Es necesario que los conceptos de ciencias básicas estén disponibles para todos los ciudadanos y que se busquen opciones para compartir el conocimiento básico. La enseñanza de las ciencias no debe estar basada en definiciones, sino en preguntas (¿Por qué? ¿Cómo?) y en buscar respuestas lógicas.
   - Para niños de mediana edad: los estudiantes deben aprender a desarrollar curiosidad sobre cómo funcionan las cosas.
   - Para jóvenes de bachillerato: los estudiantes deben conocer los fundamentos y oportunidades que tienen para desarrollar una carrera profesional en los campos de la ciencia y la tecnología.
   - Para aquellos que desean continuar una carrera científica: a) la posibilidad de desarrollar una carrera menos intensiva que abra la opción para una especialización científica o tecnológica, y b) la oportunidad para seguir aprendiendo en la universidad o en un centro de educación técnica superior.

2. *Inversión en personal docente.* La enseñanza de la ciencia requiere de profesores calificados. La ciencia es una exploración, una búsqueda de lo desconocido, conducida por el deseo de aprender y descubrir nuevos fenómenos. En consecuencia, la educación en ciencia va más allá de la idea tradicional de enseñar un contenido o ideas específicas, aunque estas no pueden ser ignoradas. Los profesores deben brindar a sus estudiantes los elementos requeridos para satisfacer la curiosidad acerca de cómo funcionan las cosas e involucrarlos en las sesiones de solución de problemas. En países como los Estados Unidos, entienden la importancia de tener buenos profesores que desarrollen actividades apropiadas en los salones de clase y mantienen una inversión constante de recursos educativos, por ejemplo, en aquellas necesarios para la enseñanza de la física. Existe una urgencia en invertir en la formación de profesores en todos los niveles educativos.

3. *Las universidades deben involucrarse activamente en la educación en ciencia y fomentar conexiones con la industria.* Deben estar preparadas para el hecho de que las ciencias naturales, de computación y la ingeniería son disciplinas que atraerán altas concentraciones de estudiantes de pregrado. También deben promover la coordinación entre la academia y las industrias interesadas en desarrollo de tecnologías.
4. *Inversión a largo plazo para la formación y cualificación de científicos en el extranjero y en los recursos necesarios para motivarlos a volver.* Colombia no tiene las facilidades ni los recursos para capacitar a los estudiantes en tecnologías e investigación de frontera. Por lo tanto, es necesario invertir en opciones que den oportunidades a los estudiantes y profesores de ir al exterior y entrenarse para adquirir un nivel adecuado de conocimiento que les permita volverse competitivos. Esto puede realizarse si se facilita la colaboración con institutos y universidades internacionales, y patrocinando maneras de participar en pasantías que les permitan a los estudiantes involucrarse en la investigación. Este tipo de aprendizaje no solamente estimulará su interés, sino también maximizará sus oportunidades de ser aceptados a un programa de maestría o doctorado si deciden seguir una carrera científica profesional. Esta estrategia requiere de una planeación cuidadosa para asegurar que los científicos que se vayan de intercambio no estén aislados cuando vuelvan, sino que sean capaces de trabajar en un medio con una masa crítica de científicos que les permita desarrollar sus planes de investigación.

Todas estas estrategias incluyen un compromiso a largo plazo por parte del Estado. Se necesitarán de, al menos, seis años antes de que el primer grupo de estudiantes tengan un doctorado o posdoctorado, además de cinco años más para que puedan establecer unas buenas condiciones de trabajo cuando regresen a Colombia. Estamos hablando de un proyecto que llevará al menos una década para que dé los frutos esperados.

5. *Las capacidades investigativas y de desarrollo deben ser la base en nuestra cultura.* La tecnología necesita volverse una parte fundamental en la sociedad colombiana. Promocionar e invertir en la investigación es fundamental, pues es el principal mecanismo para generar un personal especializado en el desarrollo de innovación y tecnología. Las universidades necesitan capacitar personas con varias habilidades, para que formen la próxima generación de científicos que pueden conectar no solamente la academia, sino también la industria y los laboratorios tanto nacionales como internacionales.
6. El Estado necesita profundizar en la manera de *atraer compañías involucradas en investigaciones y tecnología de vanguardia* para invertir en Colombia e interactuar con las universidades.
7. *Promoción de patente.* Paralelamente a la capacitación de personas, las patentes necesitan ser promocionadas. No se puede seguir hablando de innovación sin obtener una patente. Es necesario estructurar un entorno donde la innovación, la investigación y la creación se patenticen.
8. *Propiciar colaboraciones internacionales.* Es necesario potencializar colaboraciones internacionales y desarrollar estrategias para establecer programas conjuntos de investigación con otros países, e impulsar maneras de intercambios de ideas, estudiantes, posdoctorados y facultades en Suramérica, así como en América del Norte y Europa.

Conclusión

Un nuevo consenso ha surgido en las comunidades científicas e industriales respecto a la posible y pronta llegada de una generación revolucionaria de tecnologías cuánticas. Si son exitosas, estas tecnologías impactarán todos los sectores de la economía global. Para lograr ese objetivo, los Gobiernos en todo el mundo están invirtiendo en el desarrollo de tecnología cuántica. Se sabe que es un plan con potencial a largo término y el enfoque prioritario es la ciencia. El objetivo es estimular y hacer posibles nuevos

descubrimientos que nos llevarán a una nueva era, tal como la industria de semiconductores revolucionó la comunicación de una manera inesperada, estas nuevas tecnologías desarrollarán la comunicación y la computación en formas que todavía no podemos ni imaginar.

Colombia necesita tener presente la importancia de este esfuerzo y participar. El Gobierno colombiano debe entender que la inversión en ciencias básicas no es un privilegio de los países con un dominio económico. Al contrario, estas inversiones son lo que ha permitido a esos países alcanzar su posición. Ahora es el momento para invertir dado el esfuerzo mundial en desarrollar estas tecnologías cuánticas. Participar en esos esfuerzos no solamente mejorará la educación y el conocimiento básico, también ayudará a crear un nuevo tipo de industria lucrativa con bases sólidas en la física cuántica, que además traerá beneficios económicos y sociales muy importantes.

Impacto de las ciencias básicas en el ambiente

Carmenza Duque Beltrán[9]

La tecnología del ambiente depende fundamentalmente del progreso de la ciencia básica. Numerosos descubrimientos claves en la producción de energías más limpias (celdas solares, energía nuclear, materiales superconductores de electricidad, nuevos catalizadores para carros eléctricos del futuro, entre otros), desarrollos de agricultura ecológica (agroquímicos, biofertilizantes), y muchísimos otros relacionados con procesos innovadores para la limpieza del aire, agua y suelo, conforman el arsenal de investigación fundamental disponible para el mantenimiento del ambiente. La ciencia básica proporciona soluciones de soporte a la tecnología de vanguardia en la investigación para mantener un medio ambiente más limpio.

En Colombia, los estudios de ciencia básica que tienen mayor relación con el ambiente son aquellos que proveen un mejor conocimiento de los recursos vivos (biodiversidad) y de su uso sustentable y, en contraste, aquellos relacionados con su pérdida vertiginosa por la acción humana. Adicionalmente, también vale la pena mencionar los estudios básicos orientados hacia el establecimiento de nuevas técnicas y procesos que alivien varios problemas ambientales como la contaminación de ríos, quebradas, océanos, tierras, aire; la erosión causada por el mal uso del suelo y la desastrosa contaminación causada en la explotación de minerales. De manera similar, también se está empezando a considerar en Colombia el importante papel de la ciencia básica como soporte en el desarrollo de energías limpias como la solar y la eólica, y aquellos estudios básicos

9 Doctora en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón. Profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

relacionados con el calentamiento global (carga de CO_2 de combustibles fósiles).

Por estas razones desde el Foco de Ciencias Básicas tenemos las siguientes propuestas para maximizar la interacción entre lo fundamental y lo ambiental:

- Construir una política de Estado que ponga a trabajar a la ciencia básica en la solución de los problemas ambientales del país, por ejemplo, financiando a largo plazo programas integrales (paquetes de iniciativas de ciencia básica), a través de proyectos formulados desde diferentes disciplinas apuntando hacia el mismo objetivo.
- Educar al Gobierno, a las empresas y a la sociedad sobre la conservación del entorno en que vivimos.
- Estructurar programas de investigación básica multidisciplinaria y transdisciplinaria tendientes a la búsqueda y utilización de microorganismos que puedan ser usados para la descontaminación de aguas y suelos, y para la degradación de plásticos.
- Algunos otros temas que pueden servir como referentes para estos proyectos o programas conjuntos son los siguientes: investigaciones básicas en química orgánica que lleven a la invención de nuevos materiales para sustituir los plásticos; proyectos de investigación básica en química y química farmacéutica para la producción sustentable de bioproductos a partir de nuestra biodiversidad; programas de investigación básica en biología donde se determinen qué especies de plantas nativas son las más aconsejables para hacer reforestación y en qué región; programas de investigación básica que permitan el uso inteligente de la química sobre productos alimenticios en los cuales se prefieran ingredientes vegetales, de modo que se disminuya la producción de carne y con ello las emisiones contaminantes; continuar los esfuerzos para sustituir, al menos en parte, las energías fósiles por energías limpias.
- Desarrollar la ciencia básica y aplicada necesaria para transformar en bioproductos varios cientos de compuestos químicos activos de fuentes marinas y terrestres con potencial promisorio comprobado de transformación sustentable, los cuales actualmente están

depositados en los laboratorios de las universidades colombianas esperando la oportunidad financiera de iniciar su tránsito a patentes de bioproductos explotables comercialmente.

- Promover una legislación suficiente y eficiente relacionada con la investigación en ciencias básicas y realizar los cambios necesarios en el Decreto 1376 de junio de 2013 y en la Resolución 1352 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los cuales conforman una legislación paralizante para los investigadores en el área de la biodiversidad e impiden una sana colaboración entre entidades nacionales e internacionales.

Impacto de las ciencias básicas en la cultura y el conocimiento

Carmenza Duque Beltrán[10]

A través de los tiempos la ciencia se alineó como parte esencial de la evolución del hombre, se fue haciendo parte de su cultura a través de su constante esfuerzo por conocer y entender el mundo, con o sin desarrollo tecnológico, tanto que hoy podemos afirmar que la ciencia es parte fundamental de la cultura, el arte, la literatura, la ética y las instituciones de las sociedades. Las personas tienen ahora una comprensión más profunda de la naturaleza y de la sociedad, tienen una mejor calidad de vida, gozan de ventajas invaluables en las ciencias de la salud y de la agricultura, lo que produce personas felices en sociedades más equitativas, y un medio ambiente que puede mejorarse para ofrecerlo sano y sostenible a las generaciones futuras. Todos estos avances ejercen una influencia profunda en la conducta del ser humano y en los seres que lo rodean. No hay rincón de nuestra sociedad donde no se vea la ciencia y los productos derivados del conocimiento, y a los individuos que los usan, entienden y disfrutan.

Sin embargo, los cambios vertiginosos actuales en nuestras sociedades, particularmente en el sector de las comunicaciones, están originando nuevos retos y nuevas oportunidades que cada cultura aborda en forma diferente. En los países desarrollados la sociedad en general aprovecha bien estos cambios. En contraste, en los países en desarrollo como Colombia, la ciencia básica está pasando épocas difíciles. Mucha gente encuentra agotador entender el conocimiento científico o intencionalmente lo ignora. Los jóvenes se preocupan más por actividades como el cine, la música, el deporte, las redes sociales y se alejan cada día más de la ciencia. En consecuencia, es

10 Doctora en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón. Profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

importante considerar que la ciencia básica debe abrir espacios donde los investigadores y el público se encuentren en un diálogo común, franco y ameno. Para permitir este diálogo los investigadores debemos cambiar el modo de acercarnos a la gente, debemos comunicar con claridad la ciencia hecha en Colombia y las razones de su importancia para la sociedad.

Para ello, proponemos acciones como:

- Ampliar la realización de actividades de divulgación de la ciencia a otras ciudades de las regiones del país, en forma similar a como se hace en Maloka en Bogotá y en el Parque Explora en Medellín.
- Realizar ferias de la ciencia donde se explique cómo la ciencia básica hace la diferencia entre países avanzados y países en desarrollo.
- Analizar, implementar y reforzar el programa Ondas del Minctei, que lleva unos diecisiete años incentivando el interés por las ciencias y desarrollando actitudes y habilidades para la investigación entre niños y jóvenes del país.
- Implementar con obligatoriedad un programa de difusión de resultados de los trabajos de aquellos científicos que hayan recibido financiación para sus proyectos por parte del Estado, quienes, en retribución, deben comunicar sus resultados a la sociedad en general, programa que puede ser titulado "Viaje al mundo de la ciencia".
- Estructurar cátedras de vacaciones en los colegios de las zonas rurales para estudiantes y para el público en general donde se muestren los avances de la ciencia básica en Colombia y cómo el conocimiento científico tendrá influencia en el desarrollo del país.
- Establecer diplomados o especializaciones en periodismo científico en las universidades del país.
- Establecer foros presenciales y virtuales sobre ciencia básica, para qué sirve y cómo se hace, dirigidos a los estudiantes de los colegios de primaria y secundaria del país y para grupos sociales organizados.
- Establecer visitas a los grados décimo y once de colegios públicos y privados, donde se explique a esta población semilla de estudiantes cómo se hace la ciencia en Colombia y cómo podrían participar en la generación de conocimiento con el estudio universitario de carreras como ciencias básicas, ingenierías o biotecnología.

Institutos de investigación sectorial regional por demanda

Carmenza Duque Beltrán[11]
Fanor Mondragón Pérez[12]

Contexto y alcance

El desarrollo económico del país está en buena parte en manos del sector empresarial, el cual necesita ser nutrido por la ciencia, la tecnología y la innovación para que pueda competir en los mercados mundiales con mejores productos y empleo calificado. No es suficiente estar en la línea de frontera del nuevo conocimiento y de la innovación, por los riesgos que conlleva el mundo tan cambiante donde vivimos, es esencial también adquirir herramientas y decisión para llegar a propuestas y productos disruptivos. El país necesita avanzar en estos caminos del desarrollo global y para ello sus empresas micro-, pequeñas, medianas (mipymes) y las grandes empresas deben generar productos innovadores y empleo calificado, lo cual les permitirá competir en los mercados mundiales.

Sin embargo, según cifras actuales reportadas por el DANE (2017), existen en el sector productivo alrededor de 2 700 000 de mipymes y grandes empresas, de ellas el 37 % aporta valor agregado a su actividad. Del total de empresas manufactureras, solo el 0,2 % es innovador en el sentido

11 Doctora en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón. Profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

12 Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Hokkaidō, Japón. Profesor Emérito de la Universidad de Antioquia. Investigador Emérito del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

estricto, 21,5 % innovan en sentido amplio y 74 % no son innovadoras, es decir solo unas 5400 empresas podrían ser competitivas en el mercado mundial, el resto necesitan un decidido apoyo del Estado para mejorar sus procesos y productos. Con esta cruda realidad, puede decirse que nuestro sector empresarial está lejos de ser competitivo.

Adicionalmente, y de acuerdo con datos de la Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Acopi), (*El Colombiano*, 3 de septiembre de 2019), en el primer semestre de 2019 se crearon 178 844 mipymes, de las cuales, el 99,7 % son microempresas, lo cual significa que las personas están orientadas a crear su propio empleo y a conformar su empresa. También se sabe que las mipymes generan unos 18 millones de empleos de los cuales 8 millones son ocupados por los jóvenes. Según las cifras de Acopi, estas empresas tienen el siguiente perfil de inversión de utilidades: el 28 % lo hizo en nueva maquinaria y equipo, el 14 % en mejora de la infraestructura, el 17 % en capacitación de personal, y el 12 % en nueva infraestructura. La percepción de estos empresarios hacia la adquisición de nueva tecnología permaneció constante en un valor de 14 %. ¿De dónde se obtienen estos fondos de reinversión? Generalmente de créditos bancarios, recursos propios, *leasing*, microcréditos y programas del Gobierno.

Estas cifras indican que la pequeña industria es muy activa generando empleos y sobre todo empleos para los jóvenes, pero sus capacidades económicas muestran recursos insuficientes para establecer planes de innovación. En palabras de los propios empresarios, como Jorge Mario Velásquez (10 de octubre 2019), presidente del Grupo Argos, las empresas colombianas están activas en múltiples sectores económicos: desde la minería y la agricultura hasta la industria, el comercio y los servicios, con presencia no solo nacional sino también internacional. Así podemos concluir que el núcleo empresarial de Colombia es parte esencial de la base de nuestro desarrollo económico y social.

La situación que acabamos de mostrar nos lleva a concluir que el reto para Colombia es lograr que más empresas inviertan en innovación, valoren el conocimiento, se actualicen y se apalanquen en el Estado para hacerlo.

Factores que inciden en la baja apropiación de la innovación por el sector productivo

De nuestros encuentros con los empresarios -y además de la opinión de muchos ellos expresada en el documento de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI, s. f.), *Recomendaciones de las empresas* ANDI *para el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación*- podemos enunciar brevemente algunos de los factores que impiden una adecuada inversión en investigación, desarrollo e innovación: 1) falta de conciencia sobre la importancia de tener capacidad para desarrollar tecnología, no solo de comprarla en el exterior, y de crear nuevas industrias para generar riqueza y bienestar; 2) Falta de recursos en las empresas para invertir en procesos y productos de innovación o de innovación disruptiva; 3) Poca disponibilidad de capital de riesgo para las empresas que se deciden a innovar; 4) Falta de conocimiento de sus productos por parte de las empresas; 5) Falta de personal calificado en ciencia, tecnología e innovación; 6) debilidad de las relaciones entre Universidad, empresa, Estado y sociedad.

¿Cómo mejorar la tecnología y la competitividad de las empresas?

Es necesario, primero, conseguir un gran pacto nacional basado en el conocimiento entre la academia, las empresas, el Estado, la sociedad y el medio ambiente (figura 7), con compromisos firmes por el desarrollo de Colombia, con el establecimiento de propósitos comunes, definiendo políticas públicas de Estado y mecanismos de operación y financiación para impulsar al país hacia la ruta del desarrollo acelerado que marque el comienzo de la solución de los enormes problemas de inequidad y pobreza que hoy tenemos. Es necesario llevar la colaboración hasta el grado de que innovar sea la regla y no un proceso ocasional. *Estamos trabajando en ello*.

Segundo, *debemos generar una cultura de innovación*. Toda empresa debe tener como objetivo misional la innovación de productos y procesos. Es necesario reconocer que la creación de conocimiento, su transformación en

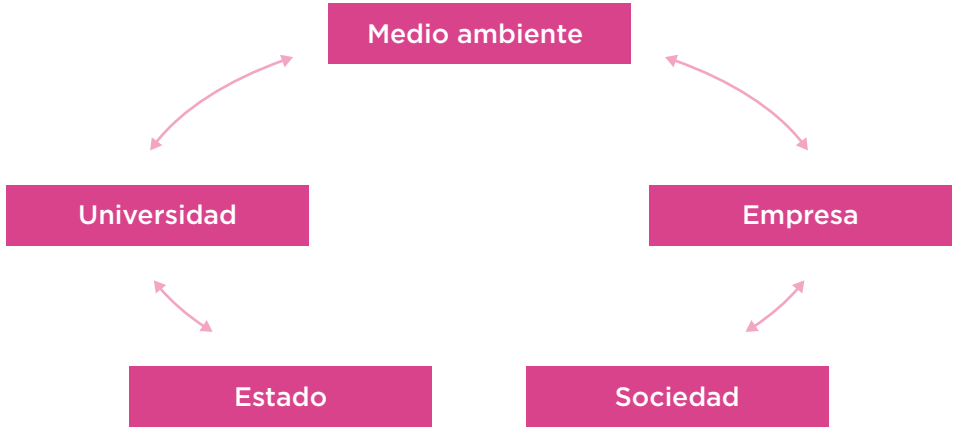


Figura 7. Gran alianza nacional entre Universidad, empresa, Estado, sociedad y medio ambiente.

tecnología y su constante incorporación en procesos de innovación necesita de un ambiente de cooperación entre las instituciones de investigación y los sectores a los cuales va dirigido ese conocimiento. Así, se necesita establecer una fuerte relación de confianza entre las partes, particularmente entre la Universidad y las empresas (las que producen el conocimiento y las que lo reciben), potenciada por unidades de transferencia o interfases, lo cual se puede lograr con un agresivo programa de trabajo conjunto de donde emergerá el conocimiento adecuado de los procesos. Siguiendo esta línea se logrará entregar soluciones efectivas, con tecnologías avanzadas (incluyendo la transformación digital), para que las empresas mejoren en calidad, productividad y competitividad.

Tercero, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación debe tener la estructura necesaria para facilitar y potenciar la política pública de Estado que se formule en este tema, siguiendo el curso de la cadena de valor del conocimiento. Por ejemplo, uno de los viceministerios propuestos deberá revisar los centros de investigación y desarrollo que actualmente existen en Colombia (los CDT y los CENIS), para aprender de lo que está bien y corregir lo que no lo está, y deberá tener a su cargo la investigación sectorial por demanda (generación del conocimiento científico y tecnológico que atienda

las necesidades de las empresas, la innovación de productos y procesos, el emprendimiento y el mejoramiento de la productividad y la competitividad) para establecer claramente cómo se va a hacer la transferencia de este conocimiento. En la siguiente sección de este documento presentaremos una propuesta sobre esta última estrategia.

Propuesta de institutos de investigación sectoriales regionales por demanda

Como cuarta estrategia, se propone que el Estado ofrezca soluciones a través del establecimiento de institutos de investigación sectorial por demanda, preferiblemente regionales, con políticas claras para atender particularmente las necesidades de las mipymes del sector.

Haciendo un poco de historia, son muy pocos los ambientes de cooperación existentes en el país, en que se hace fomento a la innovación empresarial en diversos sectores de la producción, según lo muestran los documentos de Fernando Chaparro (2019) y Moisés Wasserman (más adelante en el apartado "Política para Centros e Institutos de Investigación"). Según estos documentos, los Centros de Desarrollo Tecnológico Sectoriales (CDTS) existen usualmente como interfases, están vinculados a cadenas de producción en la industria, en el sector agropecuario, en el sector minero-energético y en los ecosistemas territoriales de CTeI. Estos CDTS se insertan en el conjunto de centros de desarrollo tecnológico del sector empresarial, que se ha creado en las principales cadenas de producción agroindustrial del país para café (Cenicafé), azúcar (Cenicaña), palma (Cenipalma), banano (Cenibanano), camarones (Ceniacua), flores (Ceniflores), entre otros. Este conjunto de centros de desarrollo tecnológico se conoce con el nombre informal de los CENIS. También es importante anotar que cada uno de estos CENIS

> Se concentra en hacer investigación y suministrarle apoyo de asesoría tecnológica a los productores o empresarios de cada rama de la producción, desarrollando no solamente investigación sino una gran variedad de servicios tecnológicos de apoyo a la producción del sector, incluyendo capacitación de técnicos especializados que las

empresas requieren. Casi todos, a su vez, forman parte de cadenas internacionales de investigación y desarrollo tecnológico que existen en cada sector.

Son instituciones financiadas por el sector privado, aunque en ocasiones han recibido gran ayuda gubernamental, y la de los aportes parafiscales permanentemente. Tienen infraestructura, personal, presupuestos y alcances de distinto tamaño dependiendo de la fortaleza de la actividad económica del gremio. En general han sido exitosos por esa relación tan estrecha entre el financiamiento, la dirección y los usuarios principales (ver más adelante en el apartado "Política para Centros e Institutos de Investigación").

Con estos referentes exitosos, es clave para el desarrollo del país que se ofrezcan soluciones de este tipo para el sector empresarial menos desarrollado y que no cuenta con capital para inversión en innovación. Así, nuestra propuesta en este punto es que, por iniciativa del Estado, se creen *institutos de investigación sectorial técnica o tecnológica por demanda* para abordar oportunidades o necesidades de las empresas tradicionalmente constituidas pero también de las empresas de los territorios. Estos institutos deberán ser prioritariamente regionales.

También deberán tener técnicos, profesionales y científicos dedicados de tiempo completo a pensar y dar soluciones prontas a los problemas de las empresas del sector, igualmente deben tener unidades de vigilancia tecnológica, asesoría jurídica y mercadeo entre otras, que estarán al servicio de las empresas. Cada instituto tendrá que hacer una caracterización detallada de las industrias de su sector para identificar brechas tecnológicas y, de esa manera, orientar las soluciones. En los primeros cinco a diez años, la asistencia a las empresas deberá ser financiada enteramente por el Estado. Una vez realizada esta primera etapa, las empresas empezarán a invertir en los institutos para avanzar en investigación y desarrollo según sus necesidades específicas. Cuando esto ocurra, el Estado retirará paulatinamente la financiación hasta que su apoyo oscile entre un 20 % a 30 % de su presupuesto. En este punto vale la pena mencionar algunos referentes internacionales, como la Fraunhofer-Gesellschaft ('Sociedad Fraunhofer') en Alemania, financiada hoy por el Estado con un 30 %

aproximadamente, mientras el 70 % restante proviene de investigaciones con la industria; además de los institutos de investigación de Corea del Sur, que comenzaron hace unos cuarenta años con una financiación del 95 % por parte del Estado, y que hoy continúa con un 30 % de apoyo en su financiación.

Los institutos entregarán soluciones a cada empresa, mientras que la implementación de los correctivos o cambios necesarios irán por cuenta de las empresas, para lo cual utilizarán los esquemas de financiación de apoyo a las mipymes establecidos en Colombia. Tanto los institutos como las empresas beneficiarias serán evaluadas cada año en su progreso (calidad, productividad, competitividad, etc.) para establecer correctivos a los planes propuestos.

Los institutos así descritos serán instituciones muy sólidas con personal altamente calificado (administradores, técnicos, profesionales y científicos), todos escogidos con base en los méritos mostrados en sus hojas de vida. Tendrán infraestructura y estudios del estado de las cuestiones para desarrollar la investigación requerida rápida y eficazmente. Los institutos deben ser muy dinámicos, actualizarse y modernizarse según el progreso de las empresas del sector y los lineamientos que establezca el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minctei). La idea es que la planta de personal de técnicos y científicos se incremente cada año hasta llegar a un nivel estable que puedan responder eficientemente a las necesidades del sector. Algunos referentes recientes para este tipo de institutos son Agrosavia en Colombia y Embrapa en Brasil.

Para el funcionamiento de algunos institutos será necesario invitar a científicos colombianos radicados en el exterior que sean expertos en los temas del sector, para que regresen a Colombia y hagan escuela. Posiblemente sea necesario potenciar otros institutos existentes. Estos institutos serán los sitios donde nuestros técnicos, profesionales, magísteres y doctores podrán trabajar en los temas de su especialidad y donde los investigadores y estudiantes universitarios podrán realizar pasantías de investigación para apoyar la solución de problemas específicos.

Los institutos así descritos son los que trabajarán en investigación por demanda según las necesidades de las mipymes y estarán adscritos

al Viceministerio de Innovación del MinCTeI. Cada instituto que se apoye (existente o nuevo) debe tener garantizada la financiación por lo menos cinco a diez años, incluyendo la ampliación de su planta de personal y el mantenimiento de la infraestructura.

Esta estrategia de creación de institutos de investigación sectorial por demanda será una de las formas de regionalizar la CTeI en Colombia, ya que estarán ubicados en las zonas o territorios que tengan vocación para estos desarrollos. Son muchísimos los institutos de este tipo que requiere el país. Dar una lista es muy arriesgado ya que se dejarían de lado temas que pueden ser prioritarios. Por esa razón, los institutos iniciales se podrían diseñar tomando como modelo a los *clusters* ('conglomerados') de empresas sectoriales que estén más organizadas. Aquí es donde el Consejo Asesor de CTeI asociado al MinCTeI es muy importante. Algunos ejemplos de estos institutos podrían ser: Instituto de Energía (eólica, solar, biomasa, carbón, petróleo, hidrógeno, gas natural, nuclear, geotérmica, almacenamiento de energía, etc.) con una seccional importante en La Guajira; Instituto del Agua (recursos hídricos, procesos avanzados en recuperación y purificación de agua, etc.); Instituto de Materiales (madera, plásticos, biomateriales, materiales híbridos, catalizadores, etc.); Instituto de Productos Basados en el Uso Sustentable de la Biodiversidad, con una seccional en la Costa Pacífica o en San Andrés y Providencia o en la región Amazónica; Instituto Nacional de Salud (que ya existe pero requiere de apoyo y actualización en temas, en infraestructura y en personal).

Documentos de política pública

La generación de políticas públicas a partir de las ciencias básicas y del espacio es probablemente el desafío más grande que tiene la Misión Internacional de Sabios. Por ello presentamos a continuación una serie de documentos que buscan orientar la generación de esas políticas. Las propuestas presentadas buscan cubrir parte de los tópicos presentados en la sección "Justificación y alcance" , estos son:

- La gobernanza y las decisiones políticas.
- El logro de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible).

Impacto de las ciencias básicas y del espacio en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Moisés Wasserman Lerner[13]

Sustentaré en pocas palabras por qué, en mi opinión, las ciencias básicas y del espacio pueden ayudar a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015). Trataré de definir algunos puntos centrales en los cuales el efecto puede ser real y lograble. Después, habiendo pensado entre todos cuál puede ser el impacto de las ciencias básicas -y con un listado de las grandes carencias y problemas que detectamos en nuestras reflexiones, encuestas y foros- llegamos a propuestas concretas, que sin duda se complementarán con las que hagan en los otros focos de la misión.

Más de 190 naciones acordaron hacer grandes esfuerzos para lograr hacia el año 2030 un desarrollo sostenible y con equidad. Definieron 17 grandes objetivos, 160 metas a las que se aspira (*aspirational targets*) y, para medir su progreso, se definieron 230 indicadores. Para lograr estos ambiciosos objetivos será necesaria una clara decisión política, altas inversiones por parte de los Gobiernos, pero también la construcción de políticas nacionales e internacionales muy bien sustentadas en evidencias (es decir soportadas en ciencia).

La ciencia tendrá pues un papel fundamental y la ciencia básica uno muy especial por sus especificidades. En relación con este papel, el capítulo 35 de la Agenda / Programa 21 (ONU, 1992), "La ciencia para el desarrollo sostenible", hace un llamado a:

13 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

- Fortalecer la base científica para el manejo sostenible.
- Aumentar la comprensión de los asuntos científicos.
- Mejorar la evaluación científica del largo término.
- Construir una buena capacidad y potencial científicos.

La importancia de las ciencias básicas a veces es pasada por alto porque sus resultados no parecen tener un efecto inmediato en los indicadores económicos. Sin embargo, el papel de la ciencia básica en el cumplimiento de los ODS va mucho más allá que una simple transferencia tecnológica, y no se debe limitar solo a ese aspecto.

Quisiera invitar a una reflexión sobre cuáles podrían ser las acciones en las que la ciencia básica puede tener un impacto específico y propio en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, dadas sus diferencias con las ciencias más profesionales y aplicadas. Propongo en forma tentativa las siguientes acciones y en cada una propuestas concretas.

Fomento de la transdisciplinariedad

Las ciencias básicas y del espacio están en una situación privilegiada para fomentar la transdisciplinariedad. Esta es reconocidamente necesaria, porque la mayoría de los objetivos no responden a una disciplina única ni dependen de un solo campo profesional. Las ciencias básicas, muy relacionadas entre ellas y con fronteras cada vez más difusas, son un foco ideal de encuentro.

Propuesta concreta:

- Crear centros de investigación centrados en problemas no en disciplinas.

Para explicar mejor, un ejemplo:

En un centro de investigación sobre energías alternativas no contaminantes se podrán encontrar, por ejemplo, grupos de físicos investigando energía nuclear, células solares o nuevas baterías; grupos de químicos investigando mejores catalizadores, combustibles más eficientes, materiales captadores de CO_2 o mejores conductores de electricidad; grupos de biólogos

moleculares investigando nuevas células fotosintéticas; grupos de geólogos explorando métodos no contaminantes para explotación de hidrocarburos, sistemas geotérmicos para generación de energía o recursos hidráulicos y de mareas, y más. Necesariamente habría también grupos de ingenieros, de matemáticos y de economistas. Alrededor de un problema, y en un marco de aplicación evidente, confluirían múltiples investigaciones básicas.

Mejorar la calidad de la educación

Uno de los problemas evidentes en la calidad de nuestra educación es la deficiencia en matemáticas y en ciencias naturales. Este es un ámbito natural de acción para las ciencias básicas.

Propuestas concretas:

- Crear en el Ministerio de Educación un consejo nacional para la conciliación de currículos de ciencia para los niveles preescolar, básico, medio y superior.
- Generar un programa nacional para la revisión y elaboración de currículos y de métodos de enseñanza en las facultades de universidades y escuelas normales que preparan maestros.

Mejorar la asesoría científica en las decisiones políticas

La formación en ciencias básicas es reconocida por su rigor lógico y por no representar intereses políticos estrechos y de corto plazo. Eso la hace una aliada excelente para apoyar el proceso de generación de políticas basadas en evidencia. Una referencia especial merece el Consejo Nacional de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Consejo Nacional de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación

Dentro del futuro Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación nos ha parecido muy importante la conformación de un Consejo Nacional de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación, que sirva como guía para

las acciones de los próximos gobiernos en este campo. Nuestra visión sobre ese consejo coincide con la presentada por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN) en su manifiesto *Desafíos para el 2030: ciencia, tecnología, educación y medio ambiente* (2018).

Este consejo se concibe como un ámbito de reflexión de muy alto nivel científico, no centrado en los planes de desarrollo y de acción de un gobierno, sino en políticas de largo término, políticas de Estado. Para que pueda cumplir esta tarea sus miembros deben ser escogidos por sus cualidades personales, y deben representar a la Nación y no a intereses de grupo o gremio. Sus periodos deben organizarse de forma que no coincidan con periodos de gobierno: el cambio de sus miembros se hará a la mitad del periodo.

Los miembros del consejo deben ser científicos (de ciencias naturales, sociales, humanas y de las artes) que hayan trabajado en forma activa en campos de frontera de su ciencia, académicos y empresarios que hayan demostrado su capacidad para desarrollar tecnologías novedosas basadas en conocimiento, e innovadores cuyas ideas hayan sido llevadas a la práctica de manera exitosa. Asimismo, es importante que estén personas enteradas de lo que pasa en el mundo en estos campos y que puedan prever desarrollos futuros.

El resultado del trabajo de este consejo no será una negociación por presupuestos entre grupos de interés sino propuestas a los gobiernos para mantener a Colombia, y conducirla, por una senda de crecimiento científico y con una economía verdaderamente basada en el conocimiento.

Propuestas concretas:

- Crear el Consejo Nacional de Política de Ciencia Tecnología e Innovación.
- Crear la oficina de asesor científico de la Presidencia de la República.
- Aprobar la creación de un comité asesor de ciencia para el Congreso de la República.

Mejorar la percepción social de la ciencia

Un problema sentido, y que tiene impacto en las decisiones necesarias para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es el analfabetismo científico de amplios sectores de la población. Este es un tema en el cual las ciencias básicas tienen especial capacidad de acción.

Propuesta concreta:

- Diseñar e implementar una cátedra de ciencia y estadística para facultades de periodismo y comunicación social con apoyo del Ministerio de Educación Nacional.
- Diseñar un sistema de educación continua para periodistas y comunicadores centrado en la comprensión de la ciencia.

Política para centros e institutos de investigación[14]

Moisés Wasserman Lerner[15]

La Misión Internacional de Sabios 2019 ha encontrado que la política para el apoyo a los centros e institutos de investigación es muy débil en el país. Las universidades siguen siendo el lugar donde se desarrolla mayoritariamente la investigación científica, hecho que contrasta con desarrollos internacionales, en los que los centros y los institutos, con formatos diversos, han adquirido preponderancia en muchos temas de investigación. Con frecuencia las mismas universidades de vanguardia crean centros en los que la actividad transdisciplinar y la comunicación con empresas y organizaciones sociales se facilita.

En el país tenemos una tradición no despreciable en el desarrollo de centros e institutos. Hay experiencias positivas, pero también se han diagnosticado (en comunicación con algunos de ellos y en revisiones históricas) graves impedimentos para su funcionamiento ágil. Muchos de ellos se encuentran en una situación financiera precaria, hay algunos emblemáticos que han desaparecido, y que hoy sin duda serían de alta prioridad, y hay otros que se han quedado cortos en la ejecución de su misión o que ha sido modificada por situaciones coyunturales.

14 Parte de las propuestas presentadas en esta sección han sido expuestas en *Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas (volumen 1),* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020). Este documento tiene como punto de partida un informe realizado por el autor para Colciencias en el año 2013.

15 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

La misión ha decidido hacer un breve análisis de los antecedentes internacionales y nacionales con el fin de proponer una política para las distintas clases de instituciones que hoy se engloban en la definición de centros e institutos. Discutiremos asimismo, las definiciones que ha adoptado Colciencias y las iniciativas que se han dado para fomentarlos y apoyarlos. La propuesta será de una gran política, pero con iniciativas diversas que se acoplen a los diferentes instituciones y estrategias. La heterogeneidad institucional no es un problema, por el contrario: es una muestra de agilidad y de versatilidad en la respuesta a retos que requieren acciones prontas en un mundo globalizado y altamente competitivo. Los apoyos deben adaptarse a las instituciones y no (como sucede en gran medida hoy) que estas deban forzarse a cuadrar con definiciones hechas *a priori*, y a veces sin suficiente ilustración o experiencia.

Antecedentes internacionales

Una mirada a la forma como diversos países han desarrollado su ciencia y su tecnología, muestra una gran heterogeneidad en las estrategias y en el tipo de centros e institutos, sobre todo aquellos que más han avanzado. En algunas naciones estas iniciativas han obedecido a una política centralizada y cuentan con muy importante financiamiento nacional y local, en otros han sido dejadas a un desarrollo espontáneo, dependiente de las exigencias de la sociedad (empresas y organizaciones sociales diversas), pero con apoyos generalmente definidos en convocatorias competitivas. Presentamos acá unos pocos casos como ejemplos ilustrativos, aunque hay muchos más que podrían sustentar estas argumentaciones.

Estados Unidos: laboratorios nacionales

Como resultado de una inmensa inversión en investigación científica iniciada por el Gobierno de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, los laboratorios nacionales (National Laboratories) han servido como instituciones centrales para la innovación científica y para abordar problemas estratégicos de punta en los Estados Unidos durante más de setenta años. Un ejemplo de esto son los diecisiete laboratorios nacionales

afiliados al Departamento de Energía (United States Department of Energy [USDE], s. f.), que abordan los desafíos científicos críticos en este campo y los retos complejos de investigación y desarrollo a gran escala con un enfoque multidisciplinario, que hacen énfasis en traducir la ciencia básica a la innovación. Es importante señalar que estos son solo uno de los muchos esfuerzos. La comunidad científica de los Estados Unidos se ha caracterizado por proponer muy diversos arreglos institucionales, disciplinares unos, transdisciplinares otros, con participación de múltiples actores económicos y sociales.

La tabla 2 se presenta en calidad de ejemplo de las instituciones de investigación de los Estados Unidos, pero no menciona otros centros e institutos de enorme importancia en sectores como la salud -que tiene a los National Institutes of Health (Institutos Nacionales de Salud), posiblemente la agencia de investigación y financiadora de investigación más grande del mundo, los Centers for Disease Control and Prevention (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, CDC)-, y otros en educación, industrias, etc.

Tabla 2. Laboratorios nacionales afiliados al Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Nombre del laboratorio	Focos
Ames	Síntesis y estudio de nuevos materiales, recursos energéticos, diseño de computadoras a alta velocidad, limpieza y restauración ambiental. Se encuentra en el campus de la Universidad Estatal de Iowa.
Argonne	Argonne tiene cinco áreas principales de enfoque: realización de investigaciones científicas básicas; operación de instalaciones científicas nacionales; mejorar los recursos energéticos de la nación; desarrollar mejores formas de manejar los problemas ambientales; proteger la seguridad nacional.
Brookhaven	Se especializa en física nuclear y de alta energía, ciencia y tecnología de la energía, medio ambiente y biociencia, nanociencia y seguridad nacional.
Fermilab	Especializado en física de partículas de alta energía.
Idaho	Energía nuclear, seguridad nacional, energía y medio ambiente.

Nombre del laboratorio	Focos
Lawrence Berkeley	Opera cinco de los laboratorios más grandes del sistema: Advanced Light Source, Joint Genome Institute, Molecular Foundry, National Energy Research Scientific Computing Center y Energy Sciences Network.
Lawrence Livermore	Energía nuclear y ciencias básicas.
Los Alamos	Seguridad nacional y ciencia fundamental.
National Energy Technology	Investigación aplicada para la producción limpia y uso de recursos energéticos domésticos.
National Renewable Energy	Eficiencia energética y energías renovables.
Oak Ridge	Alberga el mayor recurso de supercómputo del mundo (Primera supercomputadora del top 500), el cual es utilizado para multiprogramas de investigación. Trabaja, además, en física nuclear, materiales y defensa.
Pacific Northwest	Energía, seguridad nacional y medio ambiente.
Princeton Plasma Physics	Física del plasma y aplicaciones.
Sandia	Seguridad nacional, ciencias nucleares.
Savannah River	Remediación ambiental, tecnologías para la economía del hidrógeno, manejo de materiales peligrosos y tecnologías para la prevención de la proliferación nuclear.
SLAC National Accelerator	Física de aceleradores de partículas.
Thomas Jefferson National Accelerator Facility	Física nuclear.
National Institute of Standards and Technology (NIST)	Su misión es promover la innovación y la competitividad industrial. Se concentra en programas de laboratorio que incluyen ciencia y nanotecnología, ingeniería, tecnología de la información, investigación de física cuántica y medidas de precisión incluyendo relojes atómicos. Desde 1997 ha tenido ya cinco premios Nobel en física y química.

Brasil: unidades de investigación

El Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil de Brasil (MCTICB) ha creado dieciséis unidades de investigación (tabla 3) que se encargan de la generación, aplicación y difusión del conocimiento, así como del desarrollo de tecnologías y la promoción de la innovación en sus respectivas áreas de actividad (MCTICB, s. f.). Estas unidades son monitoreadas y evaluadas con base en sus respectivos términos de compromiso de gestión (TCG), un instrumento de mutuo acuerdo entre el MCTICB y la unidad de investigación.

Tabla 3. Unidades de investigación de Brasil.

Nombre	Focos
Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)	Microelectrónica, componentes electrónicos, sistemas, pantallas de información, software, aplicaciones de tecnología de la información, robótica, visión artificial, tecnologías de impresión 3D para la industria y la medicina, y software de soporte de decisiones.
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)	Investigación en física de alta energía, experimental, teórica y física aplicada, cosmología y astrofísica relativista; formación científica; instrumentación científica; tecnologías de la información y computación.
Centro de Tecnologia Mineral (Cetem)	Caracterización de materiales, tecnologías minerales, procesamiento de minerales, metalurgia extractiva y procesos biotecnológicos, tecnologías ambientales, sostenibilidad de la industria mineral, producción de materiales de referencia certificados.
Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Cetene)	Biotecnología, nanotecnología, microelectrónica.
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)	Seguimiento y emisión de alertas de desastres naturales, desarrollo de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación para mejorar continuamente las alertas de desastres naturales.
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)	Biodiversidad, dinámica ambiental, tecnología e innovación, sociedad y medio ambiente.

Nombre	Focos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	El espacio y las ciencias atmosféricas, predicción del tiempo y estudios del clima, observación de la tierra, ciencia del sistema terrestre, ingeniería espacial y tecnología, seguimiento y control de satélites, integración y pruebas de satélites, actividades asociadas en sensores y materiales, plasma, computación y matemática aplicada, combustión y propulsión.
Instituto Nacional de Tecnologia (INT)	Desarrollo tecnológico en diseño industrial, ensayos en materiales y productos, química analítica y procesamiento y caracterización de materiales; tecnologías aplicadas de catálisis y procesos químicos, corrosión y degradación, energía e ingeniería de evaluaciones y producción; innovación tecnológica; certificación de producto.
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)	Biodiversidad y uso sostenible; sistemas de producción; recursos hídricos; desertificación.
Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA)	Conocimiento de la biodiversidad; conservación y uso sostenible; colecciones biológicas; educación y difusión.
Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT)	Ciencia de la información; comunicación y difusión científica, acceso gratuito a la información científica y tecnológica; transferencia de tecnologías de la información; inclusión informativa e innovación social.
Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)	Gestión y operación de infraestructura de observación astronómica; desarrollo tecnológico en instrumentación astronómica; investigación, docencia y extensión en astrofísica; desarrollo y disponibilidad de bases de datos astronómicas.
Laboratório Nacional de Computação Cientifica (LNCC)	Tecnología de medicina asistida por ordenador; modelado computacional en reservorios de petróleo, aguas subterráneas y captura de CO2; modelado de fracturas de roca; modelado molecular; bioinformática; procesamiento de modelos moleculares; simulación y gestión de yacimientos; visualización avanzada, participante del Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec).

Nombre	Focos
Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST)	Historia de la ciencia y la tecnología en Brasil; desarrollo social de las ciencias; popularización y educación en las ciencias en espacios no formales; difusión científica para la inclusión social; preservación de colecciones históricas de científicos, instituciones e instrumentos científicos de Brasil; archivo de la cultura científica brasileña.
Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)	Biodiversidad, biogeografía, sistemática zoológica y botánica; inventario; ecosistemas amazónicos, estructura, dinámica y conservación; monitoreo y manejo de los recursos naturales; sociodiversidad y dinámicas socioculturales: antropología de las sociedades amazónicas, etnobiología, etnoecología y etnomuseología, arqueología prehistórica e histórica de la Amazonía, lingüística indígena en la Amazonía; uso del suelo y planificación del uso del suelo; biotecnología e innovación, innovación y transferencia de tecnología, propiedad intelectual y protección del conocimiento.
Observatório Nacional (ON)	Astronomía y astrofísica; geofísica; tiempo y frecuencia.

Francia: los institutos nacionales

Los laboratorios del Centre national de la recherche scientifique (CNRS, s. f.) son los "bloques de construcción básicos" del sistema (tabla 4). Sus equipos, formados por investigadores, ingenieros y técnicos, están en el origen de la producción y transmisión de conocimiento. Los laboratorios son en su mayoría unidades de investigación mixtas, con socios del mundo académico (universidades, escuelas y otras organizaciones de investigación) y la industria. El CNRS tiene más de 1100 laboratorios en toda Francia. Forman el paisaje científico local. A estos laboratorios se agregan 37 unidades mixtas internacionales (IMU), un número que ha aumentado considerablemente desde 2010.

Nombre	Focos
Institut des sciences biologiques (INSB)	Bioingeniería, bioquímica-biología estructural, biología celular, biología vegetal, desarrollo, evolución, genética, genómica, inmunología, infectología, microbiología, neurociencia, cognición, farmacología e imagenología, fisiología y cáncer.
Institut de chimie (INC)	Química de y para la vida (exploración y desarrollo de nuevos modelos y herramientas para farmacología, biotecnología, medicina, cosmetología, agroalimentación y fitosanitaria). Química verde y desarrollo sostenible, más selectiva y más segura, funcionalización de la materia (elaboración y control de las propiedades de los materiales, en particular para la energía, desarrollo de la nanoquímica).
Institut écologie et environnement (INEE)	Ecología y ecociencias, biodiversidad, impacto de los cambios globales, salud y medio ambiente, recursos, química ecológica y ambiental.
Institut des sciences humaines et sociales (INSHS)	Culturas y sociedades en la historia, los hombres, las sociedades y el medio ambiente, comportamiento, cognición y comunicación, mundos contemporáneos.
Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS)	Ciencia y tecnología de automatización, señales y sistemas electrónicos y fotónicos, ciencias y tecnologías mecánicas, energéticas y de procesos.
Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI)	Las diferentes áreas de las matemáticas, modelado matemático y simulaciones, interfaz con otras disciplinas científicas, interacciones con empresas y sociedad.
Institut de physique (INP)	Física teórica, modelización y simulación numérica, óptica, átomos, moléculas y física cuántica: fundamentos y aplicaciones, materia condensada, materiales, nanociencias, estados de la materia, transiciones de fase, inestabilidades, desorden, láseres y plasmas, física alrededor de la vida.

Tabla 4. Institutos nacionales de Francia.

Nombre	Focos
Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)	Informática y digital. Uno de sus principales objetivos es posicionarlos, con las ciencias de la información, en el centro de los asuntos multidisciplinarios e interdisciplinarios, basándose, entre otras cosas, en su asociación con el INSIS y las herramientas interdisciplinarias del CNRS.
Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3)	Física de partículas, plasma de quark-gluones y física hadrónica, física nuclear y astrofísica, física de las astropartículas, física y astrofísica de los neutrinos, investigación y desarrollo de aceleradores, informática de *grid* y ciencia de datos, aplicaciones nucleares en salud, para la energía y en el medio ambiente.
Institut national des sciences de l'Univers (INSU)	Océano, geografía, geología, geofísica, climatología, hidrología, vulcanología, sismología, medio ambiente, planetología, astronomía, astrofísica.
Institut national de recherche en sciences du numérique (INRIA)	Matemática aplicada, computación y simulación, algoritmos, programación, software y arquitecturas, redes, sistemas y servicios, computación distribuida, percepción, cognición, interacción. Salud digital, biología y planeta.

España: Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS)

La Infraestructura Científica y Técnica Singular (ICTS) hace referencia a instalaciones, recursos o servicios necesarios para desarrollar investigación de vanguardia y de máxima calidad, así como para la transmisión, intercambio y preservación del conocimiento, la transferencia de tecnología y el fomento de la innovación (Ministerio de Ciencia e Innovación de España [MCIE], s. f.). Son únicas o excepcionales en su género, con un coste de inversión, mantenimiento y operación muy elevado, y cuya importancia y carácter estratégico justifica su disponibilidad para todo el colectivo de investigación, desarrollo e innovación. Las ICTS poseen tres características fundamentales: son infraestructuras de titularidad pública, son singulares y están abiertas al acceso competitivo. Las ICTS están distribuidas por todo el territorio nacional español (tabla 5).

Nombre	Focos
Red Académica y de Investigación Española (RedIRIS)	Tecnologías de la información y las comunicaciones.
Red Española de Supercomputación (RES)	Tecnologías de la información y las comunicaciones.
Red Distribuida de Imagen Biomédica (ReDIB)	Ciencias de la salud y biotecnología.
Red de Laboratorios de Alta Seguridad Biológica (RLASB)	Ciencias de la salud y biotecnología.
Red de Laboratorios de Resonancia Magnética Nuclear de Biomoléculas (R-LRB)	Ciencias de la salud y biotecnología.
Infraestructura de Tecnologías Ómicas (IOT)	Ciencias de la salud y biotecnología.
Infraestructura Integrada de Producción y Caracterización de Nanomateriales, Biomateriales y Sistemas en Biomedicina (Nanbiosis)	Ciencias de la salud y biotecnología.
Laboratorio Nacional de Fusión (LNF)	Energía.
Plataforma Solar de Almería (PSA)	Energía.
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)	Materiales.
Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos (CLPU)	Materiales.
Infraestructura integrada de microscopía electrónica de materiales (Elecmi)	Materiales.
Red de Salas Blancas de Micro y Nanofabricación (Micronanofabs)	Materiales.
Sincrotrón ALBA	Materiales.
Bases Antárticas Españolas (BAES)	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.
Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (Socib)	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.
Reserva Biológica de Doñana (RBD)	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.

Tabla 5. Entidades de Infraestructura Científica y Técnica Singular (ICTS) de España.

Nombre	Focos
Plataforma Oceánica de Canarias (Plocan)	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.
Flota Oceanográfica Española	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.
Infraestructura para el Cultivo del Atún Rojo (ICAR)	Ciencias del mar, de la vida y de la tierra.
Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (Cenieh)	Ciencias socioeconómicas y humanidades.
Gran Telescopio de Canarias (GTC)	Astronomía y astrofísica.
Observatorio astronómico de Calar Alto (CAHA)	Astronomía y astrofísica.
Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)	Astronomía y astrofísica.

Antecedentes nacionales en Colombia

Los centros e institutos no son recientes en la historia de Colombia. Hubo desarrollos desde casi el mismo tiempo que inició la actividad científica del país. En distintas etapas se han definido políticas y más recientemente estas fueron formuladas explícitamente en documentos Conpes, en documentos internos de Colciencias, del Departamento Nacional de Planeación y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, e implícitamente en las convocatorias de fomento y en los sistemas de clasificación y evaluación de Colciencias.

Sin embargo, la frecuencia de cambios en la política y las discontinuidades han sido un problema pues se dieron antes de que se completaran las estrategias y recomendaciones de esas políticas. Un problema serio ha sido que, en el proceso de fijación de prioridades (discontinuo también), parte del esfuerzo nacional es descartado entre un sistema de priorización y el siguiente. Esto produce exclusiones que son más coyunturales e impiden el desarrollo de estrategias a largo plazo, que son cruciales para formar capital humano e institucional (más adelante daremos algunos ejemplos concretos).

Sin pretender hacer un estudio histórico riguroso, queremos emprender un breve recorrido por distintas etapas de desarrollo de los centros e institutos, señalando algunos de los momentos importantes relacionados con ellos la política científica nacional de cada momento.

Los institutos nacionales

Durante el gobierno del presidente Carlos Lleras Restrepo (1966-1970) se crearon varios institutos de carácter nacional en diferentes áreas del conocimiento. En ellos confluyeron instituciones con historia a veces muy larga, y que tenían funciones parecidas, complementarias entre sí y que correspondían al menos parcialmente con las del nuevo instituto. Lo común en todos fue su encargo preponderante de contribuir con investigación científica, conocimiento y desarrollos tecnológicos para impulsar el desarrollo social. Su carácter fue el de institutos autónomos, de orden nacional y adscritos a ministerios. La autonomía se reflejaba en un presupuesto independiente en el de la Nación (no como parte del ministerio) y unos cuerpos de dirección propios, en los que había representación del ministerio pero que funcionaban en forma independiente. El director era nombrado directamente por el presidente y tenía (al menos en teoría) independencia para nombrar su equipo de trabajo. Todas esas instituciones fueron dotadas de instalaciones propias, de plantas de personal (científico, técnico y administrativo) suficientes y de laboratorios actualizados. Colciencias tiene su origen institucional en esa misma reestructuración del Estado.

Es importante insistir que el propósito explícito fue el de crear instituciones de investigación en las diversas áreas, pero con el tiempo este carácter se desdibujó pues se volvieron más dependientes de los respectivos ministerios, a veces como unidades operativas de programas no necesariamente científicos; unos incluso se convirtieron en empresas comerciales o sociales del Estado. Mencionaremos algunos de estos institutos porque conocer su experiencia ayuda a entender posibles necesidades actuales.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

En 1962 se había creado una corporación con ese mismo nombre que recogió gran parte de las capacidades de investigación agrícola que existían en el país en universidades y escuelas. En 1963 se le dio carácter de establecimiento público descentralizado y comenzó a acoger distintas iniciativas anteriores e instituciones dispersas. Su reorganización más importante se dio en 1968, cuando culminó la adición de múltiples funciones de investigación y sanidad, y se aumentó significativamente su presupuesto. Para ese año era ya un instituto muy grande, del antiguo Instituto Zooprofiláctico había recibido 19 centros de diagnóstico, tenía 52 agencias de "extensión" que prestaban asesoría técnica y científica, ocho gerencias regionales, 30 programas nacionales y centros experimentales en todo el país. La sección de producción del Instituto Zooprofiláctico se convirtió en la Empresa Colombiana de Productos Veterinarios (Vecol), en una alianza público-privada.

A pesar de que el ICA tenía una de las plantas de mayor nivel académico en el país, la función de investigación se vio debilitada, en cierta medida por limitaciones inherentes a la administración pública. En 1993 se creó una corporación público-privada, Corpoica, a la cual fueron adscritos los principales centros de investigación. La corporación se manejaba con el régimen privado, pero durante varios momentos estuvo en crisis por falta de recursos, que recibía solo de proyectos, servicios y de contratos. Esto se resolvió 25 años después, en 2018, cuando por ley se le adjudicó un presupuesto de funcionamiento y de inversión en el presupuesto general de la Nación y se convirtió en Agrosavia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), que también trabaja con el régimen privado de contratación, pero tiene una base presupuestal propia explícitamente adjudicada en el presupuesto general de la Nación.

Instituto Nacional de Salud (INS)

En 1917 se fundó el Laboratorio Samper Martínez, una iniciativa privada de dos médicos bogotanos, a raíz de problemas de salud de sus familias que no pudieron ser resueltos en el país por la ausencia de conocimiento y tecnología actualizados. En 1928 el Estado lo compró y lo convirtió en una

institución pública, el Laboratorio Nacional de Higiene Samper Martínez. Otras iniciativas se venían desarrollando en el campo de la salud, sobre todo en relación con enfermedades tropicales, infecciosas e inmunoprevenibles. Algunas de esas iniciativas fueron el Parque de Vacunación que producía la vacuna contra la viruela; el Instituto Carlos Finlay (1962), que estudiaba la fiebre amarilla y producía la vacuna correspondiente; y varios laboratorios estatales como el de Producción de Vacuna Antituberculosa BCG (1968) o el de Control de Medicamentos. En 1968 se reorganizaron, se construyó su sede principal, se sumaron ramas técnicas del ministerio que se encargaban de estadísticas de morbilidad y control epidemiológico, programas de acueductos rurales y se constituyó inicialmente como Instituto Nacional de Programas Especiales de Salud (Inpes), y poco después como Instituto Nacional de Salud (INS). Sus funciones eran fundamentalmente las de investigación, producción de agentes biológicos de alguna complejidad, diagnósticos muy especializados, control de calidad de fármacos y alimentos, construcción de acueductos rurales y otras, todas funciones ricas en conocimiento. El precedente Laboratorio Samper Martínez y el INS gozaron de gran reconocimiento en América Latina y el Caribe. Sin embargo, el instituto se hizo más dependiente del Ministerio de Salud -tanto en su manejo como en la decisión de sus programas, que con frecuencia han sido operativos y de apoyo a las labores-, por lo cual le fueron asignados más programas de control y vigilancia que de investigación.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), hoy Servicio Geológico Colombiano

En 1916 se creó la Comisión Científica Nacional a la que se encargó realizar la cartografía geológica del país, la exploración de los recursos mineros y el estudio del subsuelo. Otros organismos relacionados empezaron a funcionar en el país, entre ellos la Planta Metalúrgica de Medellín y los Laboratorios de Fomento Minero de Pasto e Ibagué, que se anexaron por los años cincuenta. El Laboratorio Químico Nacional fue creado en 1928 y también se anexó durante la gran reestructuración de organismos estatales de 1968, así como el "inventario minero". Adquirió con los años otras funciones relacionadas, entre otras las que dejó el Instituto de Asuntos Nucleares

(IAN), posteriormente Instituto Nacional de Energías Alternativas (INEA), que fue cerrado a finales de los años noventa. Ingeominas se constituyó en 1968 como un gran instituto con funciones basadas en investigación científica y en conocimiento, con financiamiento estatal central, pero con presencia por medio de seccionales en muchas regiones del país.

También acá hay que señalar un aumento relativo de funciones de carácter operativo. La desaparición del INEA y la reducción casi a la insignificancia del Laboratorio Químico Nacional -que pasó de ser una institución de investigación a una dependencia de menor nivel dedicada a servicios de análisis rutinarios-, son unas de las paradojas difíciles de creer del Sistema de Ciencia y Tecnología Colombiano, que discutiremos más adelante.

Instituto Nacional de Cancerología (INC)

La idea de una institución especializada en cáncer fue expuesta por el profesor francés Claudius Regaud en una conferencia dictada en Bogotá en noviembre de 1928. El entonces ministro de Instrucción Pública presentó ante el Congreso de la República de Colombia la propuesta de creación del Instituto Nacional de Radium, como parte de la Universidad Nacional. En 1951 se convirtió en Instituto Nacional de Cancerología, entidad especializada del orden nacional adscrito al Ministerio de Salud. Desde entonces tuvo un desarrollo más o menos continuo hasta convertirse en una Empresa Social del Estado, con contenido de investigación científica y de desarrollo tecnológico, pero fundamentalmente una institución de carácter hospitalario. Este caso es algo diferente a los anteriores, pero tiene en común el haber sido financiado por el Estado con gran autonomía inicial y el haber tenido una transformación hacia entidad de servicio en forma primordial, adscrito al Ministerio de Salud.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

En octubre de 1951 se separó la Oficina Nacional de Estadística de la Contraloría General de la República y se creó una Dirección Nacional de Estadística como dependencia directa de la Presidencia de la República. En 1953, bajo el gobierno del general Gustavo Rojas Pinilla, se creó el

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) que fue reorganizado en 1968 en la presidencia de Carlos Lleras Restrepo.

Posteriormente se le han adicionado funciones, entre otras la presidencia del Consejo Directivo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que además de los estudios de cartografía y suelos es responsable del catastro. Si bien el DANE no es como los otros un instituto descentralizado sino un departamento administrativo, sirve como ejemplo porque también es un enorme esfuerzo, financiado estatalmente, que tiene como eje central la producción de información y conocimiento para el buen gobierno.

Estos son unos pocos ejemplos, el universo de los institutos es mucho más amplio, así como el de unidades específicamente dedicadas a la investigación dentro de instituciones estatales (un ejemplo fue la unidad para estudios de nutrición que existió en el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, y que luego desapareció en el curso de la historia).

Institutos del Sistema Ambiental

En 1994 fue creado el Ministerio del Medio Ambiente junto con una red de institutos de investigación adscritos. Estos institutos son el Instituto de Investigaciones Meteorológicas y del Medio Ambiente (Ideam), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos (Alexander von Humboldt), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi) y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). Posteriormente se incorporó el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (José Benito Vives de Andreis - Invemar), que había sido antes un instituto dependiente de Colciencias. Esta red de instituciones sí contó desde sus inicios con presupuestos de funcionamiento y de inversión (para investigación) así como de una buena infraestructura y planta de personal especializado. Esto ha permitido su funcionamiento continuo y exitosos durante los últimos veinticinco años.

Los Centros Nacionales para Investigaciones Sectoriales (Cenis)

Los Cenis son centros de investigación e innovación financiados mayoritariamente por el sector privado, dirigidos a una actividad agraria productiva.

En realidad son una mezcla público-privada, pues su presupuesto proviene en gran parte de impuestos parafiscales específicos, definidos para el sector beneficiado, aunque su financiamiento se ha definido como privado porque son manejados por un gremio económico. Sin embargo, el manejo sectorial define la orientación de la investigación y genera mecanismos para una transferencia directa de sus resultados.

Los Cenis surgieron históricamente por la toma de conciencia de los gremios productores del área agraria sobre la importancia de la investigación y la innovación. El Centro Nacional de Investigación en Café (Cenicafé) nació en 1938, el de actividades forestales en 1974, el de caña de azúcar en 1977, el de banano en 1985, el de palma africana en 1991, el de camarones en 1994 y el de papa en 1999.

Sus investigaciones son principalmente aplicadas y dirigidas a la solución inmediata de problemas del sector (aunque Cenicafé tiene ejemplos de importantes investigaciones básicas) y a la difusión de innovaciones que elevan la productividad y la calidad de los productos. Es un instrumento de los gremios para enfrentar los retos y oportunidades de la apertura comercial en que se embarcó el país a comienzos de la década de los noventa y de los tratados de libre comercio firmados desde entonces. Tienen infraestructura, personal, presupuestos y alcances de distinto tamaño que depende de la fortaleza de la actividad económica del gremio. En general han sido exitosos por esa relación tan estrecha entre el financiamiento, la dirección y los usuarios principales. En algunas ocasiones, sin embargo, su funcionamiento ha tenido percances por cambios en la política de los directivos del gremio o por estrecheces financieras derivadas del mercado.

Los centros autónomos

Aunque se han denominado así por muchos años, hay un gran listado de centros reconocidos en Colciencias con esta denominación, en realidad son diferentes y surgieron por circunstancias diversas, principalmente gracias a la voluntad de investigadores pioneros muy comprometidos con el desarrollo del país. Presentamos a continuación los casos principales que ejemplifican lo dicho.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (José Benito Vives de Andreis - Invemar)

Inició en 1963 por tres profesores de la Justus-Liebig-Universität Gießen (Universidad Justus Liebig de Giessen) de Alemania, que llegaron como invitados de la Universidad de los Andes y decidieron crear un Instituto de Investigaciones Tropicales en Punta Betín, Santa Marta. En 1967 se consolidó con donaciones de la Volkswagen Stiftung (Fundación Volkswagen) como Instituto de Investigaciones Colombo-Alemán; en 1974 definió su vocación como instituto marino y fue directamente apadrinado por Colciencias que debía definir su visión y misión (lo que hizo solo en 1992). En 1993 entró a formar parte de la red de institutos ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, convirtiéndose en un instituto público con presupuesto nacional, aunque gran parte de sus actividades las realiza gracias a la consecución de becas o subvenciones nacionales e internacionales. Tiene fuertes relaciones con universidades y con la Armada Nacional, instituciones que han construido en colaboración un doctorado multidisciplinario y multiinstitucional de Ciencias del Mar. En este momento se incorporó al sistema de institutos adscritos al Ministerio del Medio Ambiente lo que le da una mayor solidez financiera.

Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (Cideim)

Se originó en la cooperación para el estudio de enfermedades tropicales entre The Tulane University of Louisiana en Nueva Orleans y la Universidad del Valle. En 1975 finalizó abruptamente el programa en la Universidad del Valle y el Cideim continuó como una alianza directa entre la Universidad de Tulane y Colciencias, que aportó fondos para su funcionamiento hasta 1985, cuando se constituyó como fundación sin ánimo de lucro con la ayuda de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la de Colciencias. En 1994 Colciencias le cedió las construcciones en las que funcionaba como aporte patrimonial. Se sostiene exclusivamente con becas o subvenciones nacionales e internacionales. El año de 2008 inició una alianza con la Universidad Icesi en Cali y se trasladó a uno de sus edificios, donde funciona actualmente.

Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB)

Corporación de carácter privado sin ánimo de lucro, fundada por profesores que abandonaron la Universidad de Antioquia en 1970. Su objeto es la investigación básica, clínica y biotecnológica. Inicialmente se concentró en enfermedades tropicales, pero se ha ampliado a la agricultura y la industria. Su financiamiento depende de proyectos, de actividad editorial, donaciones y servicios de carácter médico en su región de influencia (Antioquia y Chocó principalmente). Recientemente, y a raíz de una crisis financiera, estableció alianzas con las universidades de Antioquia, Nacional, Pontificia Bolivariana, UDES (Universidad de Santander) y con el Colegio Mayor de Antioquia, que cubren mayoritariamente su nómina de investigadores.

Fedesarrollo

Fundación privada sin ánimo de lucro fundada en 1970 para hacer investigación en políticas sociales y económicas. Sus investigaciones son financiadas por entidades públicas, privadas, y multilaterales a través de contratos y proyectos, que tratan de mantener un equilibrio entre las fuentes para conservar su independencia y autonomía.

Centro Internacional de Física (CIF)

Centro Internacional de Física fundado en 1985 con el apoyo del Centro Internacional de Física Teórica de Trieste (Italia) y la Third World Academy of Sciences (TWAS - Academia de Ciencias del Tercer Mundo conocida ahora como The World Academy of Sciences, Academia Mundial de Ciencias). Funciona en la Universidad Nacional de Colombia y muchos de sus investigadores son profesores de esa universidad. Investiga en física básica y aplicada, pero ha ampliado sus campos a la biotecnología y la biofísica. Además del apoyo de la Universidad Nacional depende de becas o subvenciones y de los recursos obtenidos por transferencia tecnológica, asesorías y desarrollos tecnológicos de carácter comercial.

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC)

Fue creado en 1987 como entidad privada sin ánimo de lucro orientada a satisfacer las necesidades de innovación del sector de plásticos, caucho y afines, y para hacer investigaciones y desarrollo experimental en el campo de las ciencias naturales y la ingeniería. Sus investigaciones son financiadas por entidades públicas, privadas o mixtas a través de contratos, proyectos y la prestación de servicios tecnológicos de alto valor agregado en los ámbitos nacional e internacional. A pesar de que lleva ya más de veinticinco años de creado, y del apoyo de un gremio industrial, sigue teniendo un número de investigadores de nivel doctoral menor que el de los ejemplos anteriores.

Desarrollos previos en el país relacionados con una política para centros e institutos de investigación

La preocupación por el papel que deben jugar los centros e institutos en el desarrollo científico del país no es nueva. Nos parece importante mencionar acá algunos hitos de los últimos veinticinco años porque nos ayudarán a entender en qué fallamos y a proponer una política con más posibilidades de acertar.

Recomendación de la Misión de Ciencia, Tecnología y Educación (1993)

La misión planteó desde al principio la importancia de las organizaciones del sistema de ciencia y tecnología: "El conocimiento, la ciencia y la tecnología se generan, difunden y utilizan casi siempre en organizaciones, como las universidades, los *centros de investigación*, los *institutos tecnológicos* y otras instituciones educativas, y cada vez más en las empresas" (Presidencia de la República, 1996). Entre las recomendaciones que le hicieron al Gobierno, hay algunas especialmente relevantes para los centros:

> Para consolidar la base institucional de la ciencia y la tecnología debe apoyarse el fortalecimiento de los grupos de investigación existentes, la creación de nuevos grupos y el establecimiento de institutos de investigación y de centros sectoriales

> de desarrollo tecnológico, fomentando por igual las ciencias naturales, las ciencias sociales y humanas, las ciencias formales y las ciencias aplicadas.

Política Nacional de Ciencia y Tecnología (1994-1998)

Para el cuatrienio 1994-1998 se produjo un documento que fijaba la política de desarrollo científico del país (Conpes 2739, 1994). Ese documento tenía importantes elementos sobre el papel que debían jugar los centros e institutos y planteó estrategias, metas, acciones e instrumentos para ello, que si se hubieran llevado a cabo habrían hecho que las propuestas de 2019 fueran muy diferentes. Entre las estrategias proponía, por ejemplo:

> Llevar a cabo una agresiva política encaminada a desarrollar redes de innovación que vinculen el sector productivo con centros tecnológicos; impulsar el proceso de descentralización a través de Programas Regionales de Desarrollo Científico y Tecnológico con Centros Regionales de Capacitación e Investigación Científica y Tecnológica, Institutos de investigación y otras entidades del orden regional, consolidar los centros y grupos de investigación de nivel de excelencia, y crear nuevos centros en las distintas áreas que cubren los programas nacionales y regionales.

Como meta medible planteaba "garantizar la consolidación y continuidad de los centros de investigación, y sentar las bases para la creación de 25 nuevos centros académicos en los cuatro años próximos". Definía también acciones que se debían tomar e instrumentos para lograr los objetivos. Entre estos instrumentos se podrían mencionar como ejemplo:

> Los Centros de Productividad y Desarrollo Tecnológico, ya sea de naturaleza sectorial o regional; incubadoras de Empresas o Parques Tecnológicos, cuya función primordial es la de facilitar el establecimiento de nuevas empresas de base tecnológica y establecimiento de un Fondo de Cofinanciación para la Innovación y el Cambio Técnico, cuyo objetivo será financiar programas y proyectos de investigación tecnológica de los Centros de Productividad y Desarrollo Tecnológico.

Centros sectoriales de desarrollo tecnológico (1995)

Colciencias (1995) planteó en un documento la necesidad de tener varios tipos de centros, y la intención de crearlos y promoverlos. El documento hace una tipología de los centros, define sus posibles funciones y algunos mecanismos de financiamiento. Los tipos de centros mencionados son: Centros Tecnológicos Sectoriales; Centros Regionales de Productividad y Desarrollo Empresarial; Centros Tecnológicos de Empresas Públicas; y Centros Tecnológicos de Empresas Privadas. Propone además mecanismos de financiamiento, públicos y privados, y parámetros para priorizar y escoger los centros que se van a construir.

Política Nacional de Ciencia y Tecnología (2000-2002)

La inversión en ciencia y tecnología cayó fuertemente con la crisis económica de 1997 y en 1998, con el cambio del gobierno, esas propuestas fueron reconsideradas por lo cual se congelaron las inversiones en curso. En el año 2000 se produjo un documento Conpes que fijó la política para el resto del periodo 2001-2002 (Conpes 3080, 2000).

Las estrategias propuestas fueron parecidas a las definidas durante los gobiernos anteriores, aunque la innovación, sus redes y su sistema aparecieron insistentemente, con más fuerza que el componente de investigación. El documento hace una recomendación, que es interesante acá, para la consolidación de los centros de desarrollo tecnológico (CDT) en los siguientes términos:

> Los Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT) estarán vinculados con el sector real de la economía aportando soluciones a las exigencias de modernización empresarial del país. La creación, el fortalecimiento y el apoyo a los CDT responderá, entonces, a las necesidades de los sectores y *clusters* productivos con mayor posibilidad de construir ventajas competitivas nacionales e internacionales. Sus proyectos deberán conceptualizar y estimar Indicadores de impacto ambiental benéfico a nivel biológico, físico, social y económico.

Sin embargo, no hay mención de los instrumentos para crearlos y promoverlos, sobre todo la financiación necesaria. En octubre del mismo

año Colciencias expidió una guía para el funcionamiento de los CDT (Colciencias, 20 de octubre de 2000). Este documento hace explícitos los criterios que regían la política para el nuevo modelo institucional de CDT: debían ser autónomos jurídicamente, pero de naturaleza privada o mixta, y su actividad debía dirigirse a mejorar la competitividad del sector y la región en concordancia con planes gubernamentales, en articulación con las universidades, pero para ejecutar proyectos empresariales.

Los centros de excelencia (2004)

En noviembre de 2003 Colciencias propuso al Departamento Nacional de Planeación solicitar un crédito externo para el fomento de varios aspectos de la ciencia, entre ellos la conformación de "centros de investigación de excelencia" (CNCT, 19 de marzo de 2004). El documento los definió como "una red nacional de grupos de investigación del más alto nivel, articulada alrededor de un programa común de trabajo en un área científica y tecnológica considerada como estratégica para el país".

La inversión entonces estaba limitada a conformar redes sin infraestructura ni personal propios, aprovechando infraestructuras existentes, principalmente las universitarias. Fue una solución administrativa con relativamente baja inversión, que no generó nuevos centros, sino que organizó nominalmente esfuerzos ya existentes, sobre todo en instituciones académicas y en algunos de los centros autónomos. Hubo cuatro grandes criterios para la selección de las propuestas que fueron financiadas: 1) la capacidad existente entre los proponentes; 2) la oportunidad de la propuesta; 3) la calidad del programa propuesto y 4) la sostenibilidad potencial en un término de tres a cinco años. Esos centros recibieron un presupuesto de siete millones de dólares por una única vez.

El resultado visto años después fue que ninguno de esos centros alcanzó la sostenibilidad esperada a largo término. Recientemente se hizo una convocatoria en el mismo espíritu de la de los centros de excelencia, con el nombre de Colombia Científica, en la cual dos grupos de propuestas fueron aceptados. Esta vez hay un acento importante en formación doctoral, pero el esquema virtual es similar y la continuidad de los centros está en duda puesto que está prevista una asignación presupuestal por una sola vez.

Todas estas iniciativas tienen un aspecto positivo pues han permitido el desarrollo de proyectos, pero no lograron el objetivo de conformar verdaderos centros continuos en el tiempo.

Propuestas para la consolidación de los centros autónomos de investigación y de los CDT (2007-2010)

Varios documentos durante este periodo plantearon cómo consolidar y fomentar los centros, con especial énfasis en los CDT (Colciencias, septiembre de 2007). Fue propuesto un modelo con dos fases para la operación de un sistema integrado de gestión de los centros: 1) una etapa de alineamiento con las prioridades nacionales que debe consultar las prioridades planteadas en los diferentes ejercicios de planeación en ciencia, tecnología e innovación; 2) una etapa de asignación, que priorizó los CDT, según la efectividad y el impacto de su gestión. A pesar de que en el título están contemplados los centros de investigación, tanto en los criterios como en las fases es evidente que la política fue orientada hacia la competitividad empresarial. Fueron definidas tres clases de centros relacionados: los Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT), los Centros de Gestión Tecnológica (CGT) y los Centros Regionales de Productividad (CRP). En los documentos relacionados hay propuestas para soportar costos fijos y para reconocer gastos generales (*overheads*) significativos a los proyectos. Se definió el costo para mantener de 20 a 30 de estos institutos hasta 2012.

Infortunadamente estas propuestas tampoco se hicieron realidad. En 2008 y después, hubo planes de apoyo financiero a los centros que dependían exclusivamente de proyectos que no cubrían ni siquiera los gastos indirectos. Estos apoyos fueron muy importantes para el trabajo de estos centros, pero la discontinuidad y la incertidumbre son dominantes en todo el periodo que sigue, hasta hoy. Las convocatorias siguientes incluyeron un sistema de clasificación para los centros con base en sus potenciales y su productividad. El hecho predominante de esta época es que no se han creado nuevos centros, algunos se han debilitado hasta la desaparición y otros han pasado por crisis periódicas que han requerido intervención de otras instituciones, generalmente universidades, para que no desaparezcan.

Hay que reconocer que hoy en Colombia no hay mecanismos claros para transferir los desarrollos de las universidades o centros de investigación a la sociedad. Se espera que los investigadores salgan a buscar a quien le podría interesar las investigaciones que hacen. Los centros e institutos podrían ser una solución para dinamizar el flujo de conocimiento a la sociedad. Deben ser entidades jurídicamente independientes, que se manejen con normas de carácter privado. Los centros e institutos deberán estar ubicados en diferentes regiones de Colombia según sea su vocación de desarrollo. Por ejemplo, un instituto de energía podrá tener diferentes seccionales: eólica y solar en La Guajira, tecnologías limpias de uso de recursos fósiles en Boyacá y en Antioquia, etc.).

Los institutos deben tener su propia infraestructura física (estado del arte) y su grupo de investigadores de las más altas cualidades científicas. Los institutos virtuales no pueden ser operativos en un país que apenas empieza a consolidar su investigación. Por otro lado, para que sean atractivos deben tener regímenes especiales de salario, esto los haría atractivos para los científicos altamente calificados de la diáspora colombiana en el exterior. Los institutos requieren de una inversión alta y garantías de financiación por parte del Estado al menos en los primeros 5 a 8 años, tiempo durante el cual debe hacerse pedagogía en las universidades y las empresas. No debe exigirse el autofinanciamiento desde un comienzo.

Un ejemplo interesante es la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que hizo que ese país pasara de ser importador de alimentos a un exportador mundial. Hoy tiene cerca de 52 sedes en diferentes estados del Brasil con un presupuesto de cerca de 1200 millones de dólares, cubiertos en su gran mayoría por el Estado. Tiene cerca de 2200 doctores, 3000 magísteres y unos 5000 profesionales y técnicos en todas las áreas del conocimiento.

Dos casos dramáticos que es importante recordar

Los antecedentes de los centros e institutos de ciencia, tecnología e innovación estarían incompletos sin recordar dos casos que muestran la visión de muy corto plazo en la política nacional del sector. Dos entidades que hoy

serían de la más crucial importancia fueron liquidadas por inconvenientes financieros principalmente.

El primer caso es el del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT), que empezó a funcionar desde finales de los años cincuenta en Bogotá como una institución público-privada, financiada principalmente por gremios de producción. Su tarea era hacer investigaciones solicitadas por la industria o por empresas agrarias para resolver sus problemas de carácter técnico y científico. Adquirió una buena infraestructura de laboratorios y una planta de personal excepcionalmente formada para la época. Aunque fue muy eficiente y útil para la industria durante décadas, hubo pocas inversiones en mantenerlo actualizado y atento a las investigaciones de frontera. A finales de 1990, debido a la situación financiera, la junta directiva conformada por la Caja Agraria, el Banco de la República, el Instituto de Fomento Industrial (IFI) y la Federación Nacional de Cafeteros decidieron liquidarlo, en lugar de inyectarle recursos para su renovación. Se vendió por partes, el edificio, los equipos, biblioteca, etc. Los recursos de la liquidación apenas alcanzaron para cubrir el pasivo laboral. Esto sucedió paradójicamente al tiempo que el país decretaba la "apertura económica" y planteaba la necesidad de mejorar la competitividad de sus empresas.

El segundo caso es el del Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), que se había transformado en Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). El IAN fue fundado en 1965 y albergó el primer reactor nuclear experimental colombiano (y el único). En 1993, ya con una clara consciencia de la necesidad de explorar y promover fuentes energéticas alternas a las fósiles, se le asignaron funciones adicionales y se cambió su nombre a INEA. En 1998, en un gobierno que pretendía tener claridad sobre el papel de las ciencias y la necesidad de protección del medio ambiente, se decidió cerrar el instituto y repartir sus funciones en otros. El reactor nuclear se volvió algo muy incómodo para quienes lo recibieron, las funciones de investigación de hecho desaparecieron. Las razones para la liquidación fueron la ineficiencia en el funcionamiento del Instituto y la obsolescencia de sus equipos. Nuevamente, con visión muy limitada, se decidió cerrarlo en lugar de invertir para actualizarlo y hacerlo funcional para sus importantes misiones.

Resumen de problemas detectados en las políticas para centros e institutos de ciencia, tecnología e innovación

Hay varios problemas que se deducen de la discusión anterior y de consultas a miembros de la comunidad, obstáculos que han impedido el desarrollo adecuado de centros e institutos y han interferido con el funcionamiento productivo de muchos de los existentes. Hacemos acá un breve resumen de estos hechos pues deben ser abordados con una política nacional como la propuesta.

No es cierto que en Colombia no hayan existido políticas para centros e institutos de ciencia, tecnología e innovación, el problema es que han cambiado permanentemente y ninguna se ha realizado plenamente. A pesar de que varias veces se han definido con documentos Conpes, que son los instrumentos de política del alto gobierno, generalmente no se han llevado a cabo por falta de recursos. Las recomendaciones de la Misión de Sabios de hace veinticinco años fueron recogidas en un Conpes, por ejemplo, pero como sabemos no se ejecutaron.

Ha habido programas de apoyo a los centros, sobre todo a los centros autónomos, pero han dependido de las sucesivas administraciones de Colciencias, sus términos han cambiado, así como sus montos y sus exigencias. Por ejemplo, el instructivo del programa actualmente convocado exige una nueva calificación de centros que para este año deben tener al menos un grupo clasificado A1 y tres para el próximo año. Esto significa que si un centro decidió autónomamente funcionar como un grupo el próximo año dejará de ser catalogado como centro pues ni aún dividiéndose podría tener grupos A1, los cuales deben tener existencia mínima de cinco años. Esto es solo un ejemplo para explicar el problema de la discontinuidad en las políticas de apoyo.

La discontinuidad se ha visto en otras convocatorias. En un momento se hizo acento sobre los centros autónomos, en otro sobre los centros de desarrollo tecnológico (que además en otra política se dividieron en tres clases). Hubo dos convocatorias diferentes para centros de excelencia (las dos contemplaban redes no centros físicos) y en ningún caso hubo continuidad en el financiamiento.

La definición de las diferentes clases de centros en el sistema de calificación de Colciencias tampoco es conveniente. La tendencia del mundo es a conformar institucionalidades distintas, en muchos casos heterodoxas, con diversos socios, disciplinas y modelos organizativos. Las definiciones bajo las cuales se tienen que encuadrar nuestros centros para ser reconocidos limitan su potencial y son excluyentes. Quisiéramos ver centros disciplinares y transdisciplinares, tanques de pensamiento y hasta algunas ONG que cumplan esas funciones. El juicio para realizar apoyos económicos debe hacerse sobre la calidad de la oferta y sobre el potencial del grupo oferente, más que sobre la manera en que cuadran con una definición preconcebida en alguna oficina.

Prácticamente no existen los centros necesarios para apoyar a la empresa colombiana en el mejoramiento de su productividad y competitividad, hay que hacer un gran esfuerzo para crear los más adecuados o para acercar algunos de los existentes a esta función.

El principal factor para establecer un ecosistema vibrante de innovación que sea transformador y sostenible en el país es el establecimiento de una red de laboratorios nacionales y centros orientados a la Misión de Innovación en Colombia. Dicho ecosistema debe construir un marco que vincule estrechamente ciencias básicas con innovación de todos los niveles de la academia, la industria y la investigación y desarrollo. Una traducción versátil y ágil de los conocimientos y los descubrimientos a los mercados emergentes debe estar respaldada por modelos innovadores de formación y educación, junto con una protección de la propiedad intelectual impulsada por la comercialización.

En los Estados Unidos, la Ley Bayh-Dole de 1981 estableció la premisa de la titularidad de la propiedad intelectual y permitió la transferencia de conocimiento y tecnología del sector público al privado de una manera que ha impulsado la innovación en ese país. Los desafíos clave son establecer entidades científicas e instituciones nacionales ágiles y adaptables como centros de investigación e innovación que utilicen un enfoque holístico para combinar la investigación y el desarrollo científico básico, aplicado y de alta transferencia tecnológica con temas orientados por la Misión de

Innovación en Colombia. Todo lo anterior dependerá de un financiamiento adecuado y de políticas estables a largo plazo.

Propuestas de política

Como se propone acá la permanencia de una gran heterogeneidad en los centros, la política debe contemplar también estrategias variadas y alternativas. Una posible forma para consolidar estas estrategias sería la producción de un documento Conpes, liderado por el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minctei), acompañado por asesores de la comunidad científica (sobre todo con conocimiento del funcionamiento de centros e institutos) y basado en los lineamientos de propuestas.

- Permitir por ley que los institutos y centros de carácter público se rijan por el derecho privado (exclusivamente en actividades relacionadas con investigación científica) para asegurar su agilidad administrativa.
- Establecer mecanismos adecuados de financiación gubernamental de mediano y largo plazo para ese tipo de entidades con recursos que permitan cubrir gastos operacionales con flexibilidad. Si cuentan con una financiación básica para ello, los institutos y centros pueden cubrir el resto de su operación a través de proyectos. Un ejemplo internacional es el de los institutos de la Fraunhofer-Gesellschaft (Sociedad Fraunhofer), de Alemania, donde las fuentes gubernamentales, del orden nacional y regional cubren el 30 % de su presupuesto de funcionamiento.
- Para las instituciones con amplio financiamiento estatal de funcionamiento, como los institutos públicos nacionales, debe procurarse también un financiamiento adecuado de inversión, preferiblemente desde su propio sector, y que puede ser adjudicado en forma competitiva con la evaluación de la calidad de los proyectos.
- Debe asegurarse la estabilidad y continuidad de las instituciones con apoyo financiero proveniente de parafiscales, sin perjuicio de que estén sujetas a rendición de cuentas en el Minctei y no solo en su gremio.

- Debe revisarse la política de *overheads* ('gastos generales') que otorgan los fondos de financiamiento públicos. Si algunos centros e institutos van a depender en buena medida de los proyectos que les aprueben los fondos estatales (nacionales, ministeriales, regionales y locales), hay que entender que estos proyectos deben cubrir ampliamente los gastos indirectos. En Estados Unidos y en Europa este cálculo es cuidadoso y los montos dependen de la institución financiadora y de la beneficiaria. Es muy usual que el *overhead* no sea inferior al 40 % del costo del proyecto. De esa forma esos países han logrado mantener a sus instituciones trabajando en investigación activa y fomentar radicalmente esa actividad.
- Debe flexibilizarse el esquema de seguimiento y evaluación de los proyectos de investigación con fondos gubernamentales no reembolsables y competidos. El proyecto debe ser evaluado por la calidad de sus resultados, pero considerando su riesgo. El presupuesto inicial se debe usar para constatar el realismo y la seriedad de la propuesta del centro o instituto, pero no debe tomarse como compromiso de gasto inflexible. La investigación es inherentemente una actividad de riesgo. Si no se contempla la posibilidad de resultados negativos simplemente es imposible.
- Es necesario redefinir una política de institutos y centros que incluya los diferentes actores involucrados: institutos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, centros de ciencias, laboratorios nacionales, centros de excelencia, etc.
- Es necesario facilitar la importación de reactivos, maquinaria, equipos e insumos para la investigación. Crear mecanismos de propósito específico (tipo asociación público-privada) cuya función sea la importación y compra de reactivos y equipos, que desarrolle sus actividades en una zona franca, que trabaje directamente con las instituciones de educación superior (IES), institutos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, laboratorios nacionales y que cuente con normatividad especial que le permita optimizar los trámites de nacionalización, compra y exenciones de impuestos.

- Hay que establecer las redes de trabajo colaborativo que consoliden el campo de acción suficiente para dar continuidad a los institutos y centros. Si Colombia aspira a cumplir los estándares propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), debe garantizar a través de los institutos y centros una red ampliada que vincule al talento humano altamente calificado y brillante de Colombia con los ámbitos regional y nacional.
- Se debe ampliar el espectro de áreas y líneas de investigación de institutos y centros, y con ello aumentar la masa crítica en ciencia y tecnología para el país, así como ampliar los nichos ocupacionales para el recurso humano altamente científico y tecnológico en crecimiento. Hay muchas áreas carentes de centros adecuados y que en un término medio debían contar con ellos para su buen desarrollo. Unos de estos centros pueden tener el carácter de *centros de investigación por demanda* (ver más arriba en el apartado "Institutos de investigación sectorial regional por demanda" , que tengan una buena capacidad para responder problemas del sector productivo en forma presta y eficiente. Para los centros por demanda se propone que el Estado ofrezca soluciones a través del establecimiento de institutos nacionales de investigación sectorial por demanda con políticas claras para atender particularmente las necesidades de las mipymes del sector. Estos institutos deben tener técnicos, profesionales y científicos dedicados de tiempo completo a pensar y dar soluciones prontas a los problemas de las empresas del sector, igualmente deben tener unidades de vigilancia tecnológica, asesoría jurídica y mercadeo, entre otras, que estarán al servicio de las empresas. Los institutos deben estar localizados preferiblemente en regiones donde sean más pertinentes.

En los primeros 3-5 años la asistencia a las empresas debe ser financiada enteramente por el Estado. Una vez realizada esta primera etapa, las empresas comenzarán a invertir en los institutos para avanzar en investigación y desarrollo de acuerdo con sus necesidades específicas.

Estos centros e institutos se convertirán en una de las formas de regionalizar la CTeI en Colombia, estarán ubicados en las zonas donde tengan la vocación para estos desarrollos. Los institutos iniciales se podrían diseñar de acuerdo con los *clusters* ('agrupaciones') de empresas sectoriales que estén más organizadas. Algunos ejemplos de necesidades detectadas en la Misión de Sabios 2019 han sido:

- Centro de Investigaciones Biotecnológicas (Cenbiotec)
- Centro de Investigaciones en Océanos y Recursos Hidrobiológicos (Cenocer)
- Centro para la Cultura y las Industrias Creativas (Cencuic)
- Centro de Investigación y Desarrollo para las Tecnologías Convergentes y la Industria 4.0 (Cetconi)
- Centro de Investigación y Desarrollo para la Inteligencia Artificial (Cenia)
- Centro de Investigación y Desarrollo para la Energía (Cenergía)
- Centro de Investigación y Desarrollo para la Vida y la Salud (Cidvisa)
- Centro Nacional de Investigación en Nanotecnología (Cenanotec)

Barreras normativas para el desarrollo de la ciencia en Colombia[16]

Moisés Wasserman Lerner[17]

La normatividad inadecuada y la consiguiente burocratización de los procesos administrativos se han señalado como impedimentos serios para las actividades de investigación y desarrollo en prácticamente todas las consultas y foros que ha llevado a cabo la Misión de Sabios con la comunidad científica y con otros agentes de la sociedad civil. La falta de una tradición de investigación científica en la administración pública colombiana -y el hecho de que quienes generan las normas y las aplican no tienen experiencia en el campo de las ciencias ni conocen modelos extranjeros exitosos-, ha llevado a una normatividad farragosa y a unas costumbres y usos que complican aún más esa administración. Esto se agrava por el hecho de que en Colombia la administración pública busca más la prevención de las incorrecciones y de los delitos que la promoción de la eficiencia.

En un ambiente de gran temor por la corrupción, puede parecer contradictorio abogar por la confianza y la eficiencia como parámetros rectores. Sin embargo, en algún momento hay que reconocer que sin confianza la promoción de la ciencia tendrá obstáculos insalvables, y sin eficiencia en su administración no será competitiva en un ambiente

16 Parte de las propuestas presentadas en esta sección han sido expuestas en *Colombia hacia una sociedad de conocimiento: reflexiones y propuestas (volumen 1),* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020).

17 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

global que promueve la invención y la innovación como fundamentos de la competitividad económica de naciones, regiones y comunidades.

Por esta razón creemos que es importante mostrar al país aquellos procedimientos que disminuyen nuestra capacidad para investigar y que por ende nos ponen en una situación de desventaja competitiva con el resto del mundo. En un ambiente de desconfianza, se promueve la ineficiencia, las grandes ventajas se diluyen, y en ocasiones se convierten paradójicamente en impedimentos adicionales, como sucede con las restricciones para usar muestras naturales, recurso genético de la biodiversidad, en investigaciones de carácter científico. Intentaremos después de la descripción de diferentes barreras normativas proponer algunas modificaciones para superarlas.

Régimen aplicable a la administración de proyectos y programas científicos

Las leyes de ciencia y tecnología (Ley 29 de 1990 y decretos reglamentarios y Ley 1286 de 2009) han abierto la posibilidad de que se aplique el régimen privado de administración a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Algunas instituciones se han acogido a esta prerrogativa que les otorga mayor agilidad en operaciones, que estarían gravemente entorpecidas si se vieran sujetas a las limitaciones de la administración pública.

No se trata de aspirar a un privilegio exorbitante sino de reconocer una especificidad de la actividad de investigación. No es lo mismo un contrato de obra en el cual habrá centenares de ofertas equivalentes que la compra de insumos sofisticados frecuentemente con un solo proveedor, o con diferencias sutiles que se pueden escapar al no especialista pero que pueden hacer de una adquisición una pérdida total. En ocasiones es más importante la compatibilidad de un equipo de marca con un oferente único, el grado de pureza de un reactivo, la confianza en un servicio de mantenimiento, que el análisis usual de costos y especificaciones. La oportunidad de una adquisición puede ser la diferencia entre el éxito o el fracaso.

Sin embargo, el uso de estas disposiciones se ha visto muy limitado. Colciencias solo lo ha usado parcialmente y las universidades e instituciones públicas han sido más que tímidas para usarla. Una de las causas

es la poca comprensión de esta norma entre los organismos de control -procuradurías, contralorías y personerías- que la ven como una forma para escaparse al control y como un factor de riesgo de corrupción, más que como una necesidad para que la labor sea eficiente y competitiva.

Esta desconfianza (que se concreta a veces en investigaciones disciplinarias, fiscales y hasta penales) intimida al administrador, quien prefiere no arriesgarse y renuncia a la opción de tener mayor eficiencia y, a la larga, de competitividad. Más aún, el mismo temor genera dificultades para tomar decisiones lo que muchas veces se ve traducido en consultas internas innecesarias y en la exigencia de vistos buenos que tienen como único objetivo compartir responsabilidades (o eventuales inculpaciones).

De esta forma, un instrumento que simplemente igualaría a nuestros investigadores con sus colegas (y competidores) de otros países se deja de usar.

Recomendación 1: retomar la disposición de la Ley 29 de 1990 y Ley 1286 de 2009, y decretos reglamentarios, de aplicar el régimen privado de contratación a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Reglamentar en forma explícita y detallada esta disposición. Es necesario que la reglamentación sea tan explícita que no quede ninguna duda a los organismos de control sobre la factibilidad de su uso.

Periodo presupuestal

El Fondo "Francisco José de Caldas" no está sujeto a las vigencias presupuestales anuales. El fondo del Sistema General de Regalías para ciencia y tecnología adoptó vigencias bianuales (algo mejor que las anuales, pero aún insuficiente). La razón de estas disposiciones es que las actividades de ciencia, tecnología e innovación no pueden ser sujetas a periodos tan cortos. Las investigaciones muy rara vez tienen duraciones de un año, por lo general se extienden por varios años. Los programas de impacto nacional o regional con mucha mayor razón. Las vigencias anuales no aseguran la ejecución, sino que, con frecuencia, generan una mala ejecución. La necesidad de tener que contratar o comprar apresuradamente antes de que expire la vigencia induce al mal gasto. Con frecuencia hay periodos

de parálisis al principio del año que llegan a meses y que desperdician mucho tiempo de trabajo profesional y oportunidades. El trabajo científico exige una continuidad sin la cual muchas veces grandes esfuerzos se ven perdidos y es necesario reiniciar.

A pesar de estas consideraciones la mayoría de los presupuestos del Estado dedicados a ciencia, tecnología e innovación están sujetos a periodos presupuestales de una sola vigencia anual. Esto sucede con los presupuestos de los ministerios, de las gobernaciones y de los municipios, de los institutos y centros nacionales y regionales, incluso de muchas instituciones de educación superior que hacen investigación.

Nuevamente no se trata de solicitar un privilegio exorbitante sino de reconocer la especificidad de una actividad que se ve entorpecida con periodos de ejecución presupuestal cortos que a la larga le generan pérdidas directas, en competitividad y oportunidad.

Recomendación 2: reglamentar periodos de ejecución plurianuales para las actividades de investigación científica y para las instituciones públicas que las llevan a cabo.

Presentación de proyectos, términos de convocatorias

Las convocatorias y las modalidades de presentación responden a políticas y se fijan por guías o instructivos que no son normas de carácter general. Posiblemente una excepción hasta ahora han sido los proyectos de ciencia, tecnología e innovación financiados por regalías. Esos proyectos, que generalmente son de alta complejidad, deben ser formulados con la metodología general ajustada (MGA), que es un requisito para la presentación y aprobación ante los órganos colegiados de administración y decisión (OCAD) respectivos. Esta metodología general contempla una matriz de marco lógico, planificación de proyectos orientada a objetivos (ZOPP), diagrama de espina de pescado, árbol de problemas y de objetivos, etc.

La MGA posiblemente es apropiada para proyectos de inversión del Departamento Nacional de Planeación que tienen un carácter muy diferente a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación. La imposición de un sistema extraño a esta actividad genera restricciones serias de manejo, y a

la larga perjudica al proyecto en lugar de organizarlo. Reduce la flexibilidad de los proyectos y su capacidad de respuesta rápida e imaginativa a los problemas que se presentan, que en investigación son casi que por definición inesperados. El seguimiento de la ejecución es igualmente engorroso y totalmente incapaz de distinguir entre lo que es un incumplimiento y lo que solo es un cambio recursivo ante problemas imprevisibles. De hecho, la ejecución deficiente de estos recursos (que llevó a que se hiciera en el pasado cercano una reforma temporal de la Constitución para asignar una parte de esos recursos a la construcción de vías terciarias) no se debió a falta de proyectos e ideas. El porcentaje de aprobación de proyectos en el sistema normal de Colciencias es muy bajo, inferior al 8 %, y en muchas convocatorias han quedado proyectos aprobados técnicamente pero que no son financiables por falta de recursos. La razón principal para la baja ejecución es sin duda el formato de presentación de proyectos y de seguimiento, que es totalmente ajeno a la formación de los investigadores quienes se sienten abrumados e intimidados por él y prefieren no hacer propuestas.

Recomendación 3: ajustar la normatividad de presentación de proyectos estrictamente a aquellos que son específicos para actividades de ciencia, tecnología e innovación. Modificar el sistema MGA usado en los proyectos financiados por regalías en colaboración con MinCTeI.

Seguimiento de proyectos

El seguimiento de los proyectos financiados por Colciencias y otras instituciones estatales es inconveniente y generalmente contradictorio con los propósitos mismos de cada proyecto. Hay dos evaluaciones hechas por separado: la primera es una evaluación técnica hecha por la entidad financiadora que estudia en forma superficial si los compromisos "medibles" se han cumplido. No hay análisis sobre la calidad de los resultados y por otro lado se introducen restricciones que podrían generar situaciones inconvenientes, incluso con implicaciones éticas negativas. Por ejemplo, si un proyecto propone la formación de un estudiante a nivel doctoral o de maestría, el investigador principal prácticamente se vería obligado a

aprobar su tesis aunque el estudiante no cumpla con requisitos, porque de otra forma quien incumple es el investigador. Si un investigador propuso un número determinado de artículos, se ve obligado a publicar ese número, incluso si en otras circunstancias preferiría no hacerlo hasta consolidar mejor los resultados. Por otro lado, un resultado realmente notable y que en otros ámbitos tendría alto reconocimiento en esta evaluación no compensaría la ausencia de un compromiso menor.

La segunda evaluación es financiera y la hace un organismo independiente que maneja los fondos: una fiducia o un fondo de administración. Esta evaluación usa el presupuesto inicial no como un indicador sino como un compromiso contractual del gasto. Esto lleva a absurdos como que se exija la compra de un equipo obsoleto porque ese se propuso años antes, cuando se escribía el proyecto, sin saber que se iba a desarrollar otro equipo mejor, o situaciones como la desaprobación de insumos no previstos porque las necesidades de la investigación cambiaron a raíz de los resultados que se iban obteniendo. En resumen, estas evaluaciones son en exceso rígidas e impiden comprender los altos niveles de incertidumbre que tiene una investigación, sobre todo si esta es realmente de frontera. El sistema actualmente usado desestimula la presentación de ideas originales (que conllevan un riesgo mayor) y estimula las propuestas rutinarias y repetitivas.

Recomendación 4: modificar el esquema de seguimiento y evaluación de los proyectos de investigación científica de acuerdo con la flexibilidad que estos deben tener. El proyecto debe ser evaluado por la calidad de sus resultados pero en forma muy flexible, considerando el riesgo implícito en esta clase de investigaciones. El presupuesto inicial se debe usar en la evaluación para constatar el realismo y la seriedad de la propuesta, pero no debe ser usado en la evaluación como un compromiso de gasto inflexible.

Contrapartidas y *overheads*

El *overhead* ('gastos generales') es una figura introducida en Estados Unidos y en Europa para estimular la actividad de investigación. Consiste en que las agencias financiadoras (sobre todo del Gobierno, pero también

otras de fondos privados) adicionan una suma que puede estar entre el 40 y el 60 % del costo real de la investigación y que puede ser usada por la institución ejecutora para cubrir gastos indirectos, pero también para reinvertir en infraestructura común (edificios, bibliotecas, equipos, redes, etc.) que va a beneficiar la actividad científica en general y no solo la del proyecto específico. Esta iniciativa ha logrado que el investigador se vuelva muy atractivo para la institución porque mejora sus finanzas y su potencial científico y académico, aunque encarece los proyectos notoriamente.

Frecuentemente se exige que el país receptor cubra parte de los gastos del proyecto, generalmente los gastos de personal y los costos indirectos, en préstamos y aportes no reembolsables de fondos transnacionales y en proyectos de cooperación internacional. Eso se define como una contrapartida de la nación.

Los primeros esfuerzos investigativos organizados desde Colciencias en la segunda mitad del siglo XX se apoyaron en préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y del Banco Mundial, y se adoptó la figura de contrapartida pero se aplicó a la institución que recibía el financiamiento. La figura de *overhead* no ha sido usada, apenas muy recientemente los proyectos de Colciencias reconocen algunos costos indirectos, inferiores al 10 % del valor del proyecto, y que en la mayoría de los casos ni siquiera cubren el costo indirecto real.

De esta forma, una figura de financiamiento que en los países desarrollados impulsó la ciencia haciendo muy atractivos a los investigadores para las instituciones es descartada en nuestro sistema porque, al contrario, hace del investigador alguien mucho menos atractivo pues solicita fondos adicionales y contrapartidas para completar el costo de sus proyectos. La figura del *overhead* tiene éxito indudable pues genera un estímulo que compensa en poco tiempo los costos mayores con desarrollos e innovaciones, a pesar de que hace que los proyectos sean más costosos.

Recomendación 5: adoptar normativamente la figura del *overhead* para los proyectos de investigación financiados por el Estado desde sus diferentes fondos, y con un porcentaje realista sobre el costo del proyecto de tal manera que efectivamente cubra gastos indirectos y estimule el crecimiento de la actividad investigativa.

El concepto de inversión de riesgo en la investigación

Nuestra legislación no contempla la posibilidad de asumir un riesgo. Un funcionario que lo asume puede ser investigado por los órganos de control y castigado muy severamente. A toda empresa estatal se le exige un estudio previo y si los resultados son diferentes el responsable puede ser acusado de haber hecho un mal estudio. Esto puede ser conveniente en contratos de obra, pero es fundamentalmente opuesto a la naturaleza misma de la investigación, que es una actividad de riesgo. Si uno pudiera predecir con un estudio previo el resultado de la investigación esta no sería necesaria.

La única forma de proponer proyectos de investigación seguros es renunciando a la originalidad y a las ideas revolucionarias. Un proyecto que repite acá lo que se ha hecho en otros lugares puede ser útil porque da algunos resultados específicos para el lugar, una modificación parcial a algo desarrollado en otro lado puede ser útil porque representa un avance. Pero algo totalmente novedoso y diferente es siempre un asunto de alto riesgo. Una innovación radical puede ser excluida completamente por este sistema.

Algo similar sucede con el financiamiento y la inversión en innovaciones e inventos. Antes de hacer la inversión no es posible saber si funcionan. De hecho, hay campos, como el desarrollo de moléculas terapéuticas, en los que se sabe que una fracción muy pequeña de las moléculas probadas llegan a constituirse en un producto comercializable. Por supuesto, la ganancia en ellas es considerable y compensa a largo término el costo de los intentos fallidos, pero no hay forma de saber cuál es el intento exitoso sin probar muchos que no lo van a ser.

Esto lleva necesariamente a la conclusión de que las normas de seguridad a las que se someten los proyectos de obra del Estado no son las apropiadas para los proyectos de investigación y de innovación, por el contrario: son un impedimento muy serio para su éxito.

Recomendación 6: revisar las normas y las guías que exigen estudios previos para el caso de proyectos de investigación y de innovación. Considerar el establecimiento de fondos de riesgo para el apoyo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación.

Régimen de propiedad intelectual

En 1980 los Estados Unidos promulgó la Ley Bayh-Dole (Bayh–Dole Act), según la cual los beneficiarios de fondos estatales para actividades de investigación y desarrollo tienen derecho a patentar invenciones y conceder licencias a empresas. Estos beneficiarios son fundamentalmente las universidades, los institutos y centros de investigación y los investigadores mismos. La finalidad de esa ley era promover la explotación de los resultados de las investigaciones financiadas por el Estado transfiriendo su titularidad a las instituciones que hicieron la investigación, que quedaban libres para negociar esa titularidad con las empresas. Fue una decisión con visión de largo plazo, pues cuando el Estado renunció a unos derechos que no eran de fácil concreción movilizó a todo el aparato académico y a las empresas en un esfuerzo que les convenía a ellos, y que a la larga significó progreso económico, trabajo y recuperación de la inversión por vía de mayores aportes de impuestos. El régimen de propiedad intelectual es uno de aquellos factores que, bien diseñado, puede impulsar la investigación y su transferencia al sector productivo, pero si está mal planteado se puede convertir en una barrera seria para la ciencia.

Recomendación 7: analizar y replantear el régimen de propiedad intelectual tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- Reevaluar el papel de la protección vía propiedad intelectual para permitir la efectiva transferencia de conocimiento a la sociedad por encima de proteger e impedir el uso.
- Los incentivos a las patentes producidas en universidades y centros de investigación deben estar atados a la búsqueda de transferencia por vía de mecanismos como el licenciamiento, la creación de *spin-off* (‘empresas derivadas’) y otros. Deben ser reevaluados los incentivos permanentes para la obtención de patentes sin buscar la transferencia.
- Las políticas de propiedad intelectual deben fomentar la ciencia abierta, que es la tendencia mundial ante el surgimiento de multinacionales que hacen uso de datos producidos con recursos públicos.

- Las instituciones de educación superior deben tener capacitaciones permanentes básicas en propiedad intelectual y de derechos de autor.
- El Gobierno nacional debe incentivar la creación de Oficinas de Transferencia de Conocimiento, evitando los monopolios e incentivando la competencia, en las instituciones de educación superior y en las regiones, que aprovechen su experiencia, su capacidad y su especialización para apoyar el proceso de convertir al país en una sociedad basada en el conocimiento.

Trabas en importación de reactivos, equipos e insumos para la investigación

Una de las iniciativas de bajo costo para el Estado y que podría ser un apoyo significativo para la investigación científica sería la racionalización de normas relacionadas con la importación de elementos necesarios para la investigación científica y la coordinación institucional de las entidades responsables de esas normas. Hoy puede haber varias instituciones que apoyen ese mecanismo: DIAN, Invima, INS, etc. Es importante que las instituciones estatales no hagan exigencias de diverso orden que entorpezcan, hagan más costosa nuestra investigación y menos competitiva, que ponen a personas con pocos conocimientos específicos a juzgar asuntos técnicos que requieren gran especialidad.

Recomendación 8: racionalizar los requisitos para importar materiales y equipos de laboratorio.

- Crear mecanismos efectivos para la nacionalización de equipos dedicados a la investigación científica y las exenciones a estos. La DIAN debería tener una oficina de enlace especializada en el tema, con contacto directo con las universidades y las instituciones científicas. Dicha oficina debe tener la capacidad técnica para entender tanto la parte científica como la parte burocrática de las nacionalizaciones. La importación de equipos científicos debe ser prioritaria.

- Los mecanismos de exención de impuestos deben hacerse antes y no después del pago de estos, ya que esto origina un desbalance financiero en los proyectos y una carga burocrática adicional. La exención debe ser total y automática al ser recursos del propio Estado como partes de un proyecto de investigación.
- El sistema financiero debe adecuarse e involucrarse en la compra y adquisición de equipos de laboratorio por medio de figuras como préstamos a tasas preferentes y *leasing* ('arrendamiento con opción de compra') de equipos.
- Debe haber mayor apertura a la importación de insumos controlados, en la actualidad tenemos límites en promedio de 500 sustancias en litros y gramos, la importación debe ser más abierta al ser realizada por las universidades y sustentada en proyectos de investigación.

Régimen de asociación público-privada

- Los mecanismos de asociación público-privada han sido poco explorados para la creación de consorcios en el desarrollo de programas estratégicos, como las propias misiones. Se deben establecer mecanismos efectivos para incentivar este tipo de asociaciones por medio de exenciones tributarias y seguridad jurídica.
- La participación en grandes proyectos de investigación internacionales y nacionales con asociaciones publico-privadas no pueden seguir las mismas reglas aplicadas a proyectos de infraestructura.

Estatuto del investigador

Los investigadores que trabajan en institutos y centros públicos, que tienen entre sus misiones principales la investigación científica, están sujetos al régimen de los funcionarios públicos definido por el Departamento Nacional de la Función Pública. Eso implica que los salarios de esos investigadores

son muy bajos, mucho más bajos que los de profesores de planta de universidades públicas y privadas, y que no tienen sistema de carrera que les permita ser evaluados para avanzar con base en su productividad, y que no hay ninguna equivalencia ni real ni normativa con quienes ejercen funciones similares en ámbitos académicos públicos. Varias veces se ha propuesto crear la carrera de investigador con características diferentes a las del empleado público, características que respondan a la especificidad de ese trabajo y que estimulen la vinculación a instituciones del Estado que investigan. Hoy la situación desestimula a estos investigadores, quienes migran del país o a otros sectores sociales en cuanto pueden, causando muchas veces el abandono de promisorias carreras y perdiendo esfuerzos de formación importantes.

Recomendación 8: conformar la carrera de investigador, con todas sus especificidades salariales y de avances en la carrera por evaluación de productividad, dentro del sistema nacional de la función pública.

Inversión de los ministerios en investigación científica

La posibilidad de aumentar la asignación de presupuestos del Estado para investigación científica se ve dificultada por la crónica falta de recursos (que no va a cambiar en los próximos años). La mayoría de los ministerios tienen la necesidad de llevar a cabo investigaciones serias en su campo: algunos las hacen esporádicamente, otros esperan que sean financiadas por recursos diferentes a los propios, que posiblemente no existen o que restarían financiamiento a otros temas también importantes. Los ministerios pueden entenderse como grandes empresas con objetivos complejos. En cualquier lugar, una empresa de esa característica está destinada al fracaso si no dedica una parte de su presupuesto de inversión a la investigación. Posiblemente no sería demasiado gravoso estipular que un porcentaje del presupuesto de inversión en forma obligatoria se dedique a resolver problemas del ministerio que requieren un aumento en el conocimiento. Esta asignación no implicaría más que un porcentaje pequeño del presupuesto y con la coordinación del Minctei se podría potenciar seriamente al sumarse al de otros que tengan problemas similares o complementarios.

Propuesta 9: establecer por norma la obligatoriedad de que un porcentaje del presupuesto de inversión de los ministerios sea dedicado a investigación científica.

Lista de propuestas

- Retomar la disposición de la Ley 29 de 1990 y la Ley 1286 de 2009, y decretos reglamentarios, de aplicar el régimen privado de contratación a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Reglamentar en forma explícita y detallada esta disposición. Es necesario que la reglamentación sea tan explícita que no quede ninguna duda a los organismos de control sobre la factibilidad de su uso.
- Reglamentar periodos de ejecución plurianuales para las actividades de investigación científica y para las instituciones públicas que las llevan a cabo.
- Ajustar la normatividad de presentación de proyectos estrictamente a aquellos que son específicos para actividades de ciencia, tecnología e innovación. Modificar el sistema MGA usado en los proyectos financiados por regalías en colaboración con MinCTeI.
- Modificar el esquema de seguimiento y evaluación de los proyectos de investigación científica de acuerdo con la flexibilidad que estos deben tener. El proyecto debe ser evaluado por la calidad de sus resultados pero en forma muy flexible, considerando el riesgo implícito en esta clase de investigaciones. El presupuesto inicial se debe usar en la evaluación para constatar el realismo y la seriedad de la propuesta, pero no debe ser usado en la evaluación como un compromiso de gasto inflexible.
- Adoptar normativamente la figura del *overhead* para los proyectos de investigación financiados por el Estado desde sus diferentes fondos, y con un porcentaje realista sobre el costo del proyecto de tal manera que efectivamente cubra gastos indirectos y estimule el crecimiento de la actividad investigativa.

- Revisar las normas y las guías que exigen estudios previos para el caso de proyectos de investigación y de innovación. Considerar el establecimiento de fondos de riesgo para el apoyo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación.
- Analizar y replantear el régimen de propiedad intelectual tomando en cuenta los siguientes parámetros: propiciar la efectiva transferencia de conocimiento por encima de su protección; los incentivos a las patentes producidas en universidades y centros de investigación deben estar atados a la búsqueda de transferencia por vía de mecanismos como el licenciamiento; los procesos de protección y transferencia vía propiedad industrial y derechos de autor debe ser incorporada a los currículos de las instituciones de educación superior; las políticas de propiedad intelectual deben fomentar la ciencia abierta, que es la tendencia mundial ante el surgimiento de multinacionales que hacen uso de datos producidos con recursos públicos; el Gobierno nacional debe incentivar la creación de Oficinas de Transferencia de Conocimiento, evitando los monopolios e incentivando la competencia, en las instituciones de educación superior y en las regiones, que aprovechen su experiencia, su capacidad y su especialización para apoyar el proceso de convertir al país en una sociedad basada en el conocimiento.
- Racionalizar los requisitos para importar materiales y equipos de laboratorio. Deben cambiar los trámites en la importación de reactivos controlados para los proyectos de investigación y desarrollo de tecnología y conocimiento, deben ser más expeditos y aumentar las cantidades, pues debe partirse de la confianza hacia las instituciones que producen conocimiento. Las exenciones de impuestos deben hacerse antes y no después del pago de estos, para evitar un desbalance financiero de los proyectos. El sector financiero debe participar en los procesos de compra y obtención de equipos de laboratorio proponiendo mecanismos novedosos para adquirirlos, como préstamos a tasas preferentes y *leasing* (‘arrendamiento con opción de compra’).

- Debe incentivarse la existencia de asociaciones público-privadas para el desarrollo de proyectos estratégicos de investigación, y para proyectos conjuntos con la industria, sin imponer las mismas condiciones y la lógica de los proyectos de infraestructura, reconociendo que la producción de conocimiento por conocimiento *per se* es parte de los resultados que se esperan de un sistema de investigación en un país.
- Conformar la carrera de investigador, con todas sus especificidades salariales y de avances en la carrera por evaluación de productividad, dentro del sistema nacional de la función pública.
- Establecer por norma la obligatoriedad de que un porcentaje del presupuesto de inversión de los ministerios sea dedicado a investigación científica.

Un cambio necesario de la normatividad en Colombia para el estudio de la biodiversidad desde la ciencia básica

Carmenza Duque Beltrán[18]

Biodiversidad colombiana en el contexto mundial

Colombia es un país tropical considerado el segundo país megadiverso en el mundo con 56 343 especies terrestres vegetales y animales documentadas (Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia [SIB], s. f.) -el número calculado de especies podría ascender a unas 700 000 o más (Noreña, González Muñoz, Mosquera-Rendón, Botero & Cristancho, 2018)-, con un número muy grande de especies marinas (segundo lugar en biodiversidad marina en Suramérica), y con una inmensa riqueza de microorganismos. Entre las especies totales documentadas (SIB, s. f.), se encuentran 7385 vertebrados, 20 647 invertebrados, 1637 líquenes, 2160 algas, 30 736 plantas y 1637 hongos (SIB colombiano). Más aún, el país ocupa el primer lugar en biodiversidad de aves y orquídeas, el segundo en plantas, anfibios, mariposas y peces de agua dulce, el tercero en palmas y reptiles y el sexto en mamíferos.

Sin embargo, utilizando minería de datos en las cuatro más importantes bases de datos públicas internacionales para encontrar los trabajos que

18 Doctora en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón. Profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

se han hecho sobre este gran número de especies mencionadas (Noreña, González Muñoz, Mosquera-Rendón, Botero y Cristancho, 2018), se detectaron solo muy pocos de la biodiversidad colombiana, por ejemplo 1) en la Genbank Data Base, específicamente en la sección Nucleotide (NCBI), menos del 5 % de los informes que existen involucran especies documentadas del país, 2) en la Barcode of Life Data (BOLD Systems) se encontraron informes que comprenden aproximadamente 0,46 % del total de la biodiversidad de Colombia reportada, 3) en la Bioproject (NCBI) Data Base (datos relacionados con proyectos) pocos proyectos se relacionaron con microorganismos y, finalmente, 4) las bases de datos Pathosystems Resource Integration Center (Patric) registraron 1673 especies colombianas. Toda esta información demuestra que hay muy poca disponibilidad de datos sobre la biodiversidad del país, bien porque no se han hecho más estudios que los encontrados o bien porque que su visibilidad para la comunidad científica en general es muy pobre.

En conclusión, la disponibilidad de datos genéticos públicos de la biodiversidad genética de Colombia es muy pobre e incierta, y además se sabe muy poco sobre la biodiversidad molecular. Algunos datos recientes sobre compuestos químicos extraídos de 430 organismos marinos en Colombia (Bautista, 2017) revelan el aislamiento y la determinación estructural completa de 1560 compuestos, de los cuales 224 mostraron estructura novedosa (avances básicos en la química de productos naturales). Esta falta de información de estudios moleculares puede deberse a la limitación de los contratos de acceso a los recursos genéticos requeridos para hacer investigación, aunque sea investigación básica sin fines comerciales, ya que los recursos genéticos en Colombia son propiedad del Estado -inalienables, imprescriptibles y no publicables-, y su acceso solo es permitido mediante los términos establecidos en una compleja legislación establecida por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual trataremos más adelante.

Biodiversidad colombiana en el contexto nacional

La biodiversidad colombiana está actualmente siendo objeto de un activo estudio científico como resultado del gran interés de muchos investigadores colombianos, quienes desde la década de los ochenta se interesaron en ella, organizándose en 1996 con el MADS, alrededor del primer documento público "Política Nacional para la Biodiversidad", la cual fue actualizada y refrendada en el 2014 como política pública de Estado, en el documento "Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos" (MADS, 2015), para frenar la pérdida de biodiversidad y asegurarse que para 2020 los ecosistemas sigan brindando los servicios esenciales, conservando la variedad de vida del planeta y contribuyendo al bienestar humano y a la erradicación de la pobreza. Asimismo, se formalizó el documento relacionado "Política Pública Ambiental para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología a partir del Uso Sostenible de la Biodiversidad" (Conpes 3697 de 2011).

En Colombia hay actualmente alrededor de 56 grupos de investigación dedicados a actividades científicas en biodiversidad (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [MinCTeI], s. f.), la mayoría pertenecientes a instituciones tales como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes, Corpoica, Universidad de Antioquia, Cenicafé, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos (Alexander von Humboldt), Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Católica de Manizales, Universidad de Caldas, Universidad del Quindío, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Universidad del Valle, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad del Magdalena, Corporación Corpogen, Corporación para Investigaciones Biológicas, entre otros. Por otro lado, la infraestructura física de laboratorios y equipos es relativamente buena y aunque hacen falta equipos de alta tecnología, su uso ha podido ser potenciado por medio de la colaboración internacional.

Normatividad asociada a los estudios de biodiversidad en Colombia

Los recursos naturales vivos de la nación son propiedad del Estado colombiano, por lo cual se ha establecido un entramado de leyes, decretos y resoluciones de reglamentación de diversas actividades de investigación. El campo de aplicación de esa normatividad incluye investigaciones que busquen conocer, conservar y aprovechar prioritaria y sustentablemente los recursos genéticos o productos derivados de especies nativas en sus formas silvestre, domesticada, cultivada o escapada de domesticación y los de origen humano.

El Convenio de Diversidad Biológica (CDB) suscrito por 168 países en Río de Janeiro (ONU, junio de 1992) establece de común acuerdo entre los firmantes la soberanía de los países para el uso y aprovechamiento de sus recursos biológicos. La Comunidad Andina de Naciones (CAN), de la cual Colombia es miembro activo, define la regulación de acceso a los recursos genéticos y productos derivados para sus países miembros por medio de la Decisión 391 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena (Caracas, 2 de julio de 1996), (el artículo 5 establece que los países miembros de la CAN ejercen soberanía sobre sus recursos genéticos y productos derivados determinando las condiciones de su acceso). La figura 8 muestra la cronología de esta serie de normas.

Por otro lado en Colombia, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 del Ministerio del Medio Ambiente -hoy Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables en Colombia-, este es el encargado de definir su manejo, uso y aprovechamiento para asegurar el desarrollo sostenible. Entre sus funciones están las siguientes: regular conforme a la ley la obtención, uso, manejo, investigación, importación, exportación, así como la distribución y el comercio de especies y estirpes genéticas de fauna y flora silvestres; regular la importación, exportación y comercio de dicho material genético; establecer los mecanismos y procedimientos de control y vigilancia; y disponer lo necesario para reclamar el pago o reconocimiento de los derechos o regalías que se causen a favor de

la Nación por el uso de material genético. Adicionalmente, en el Decreto 730 de 1997, en Colombia se designó al MADS como autoridad nacional competente, en los términos, para los términos y para los efectos establecidos en la Decisión 391 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena relativa al Régimen Común sobre Acceso a los Recursos Genéticos.

En 2011 se determina a través del Decreto-Ley 3570 la estructura del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) que se tiene actualmente.

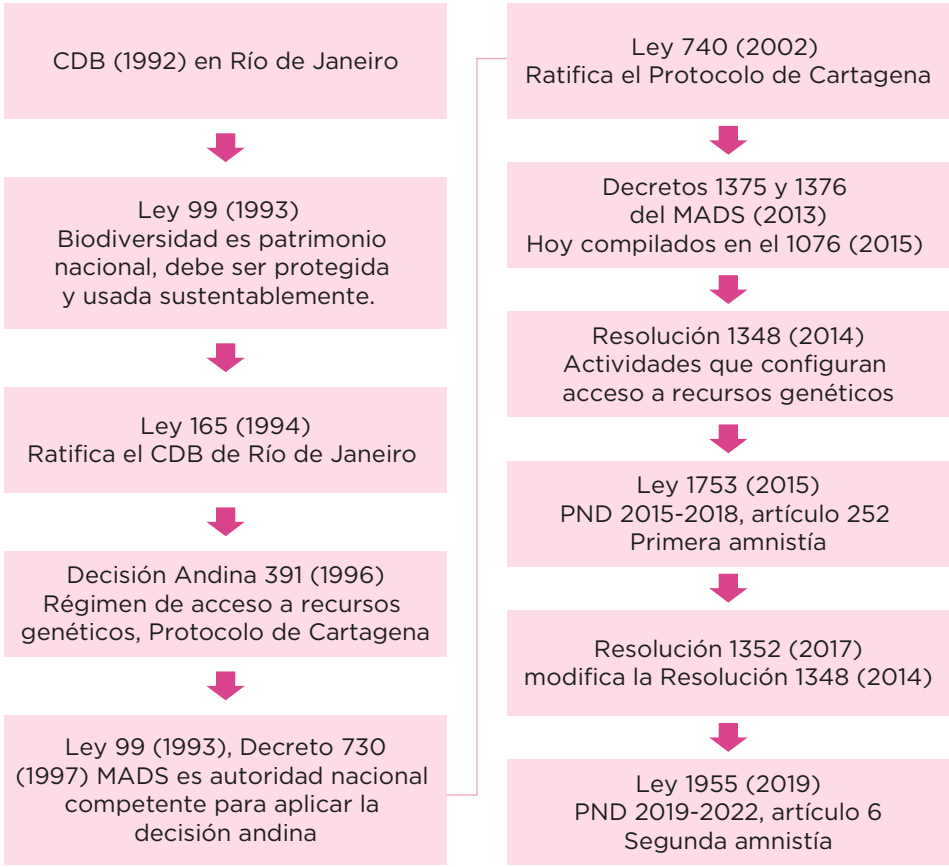


Figura 8. Cronología y etapas importantes que ha seguido el desarrollo normativo de la biodiversidad en Colombia (1992-2019).

En 2013 el MADS emite los Decretos 1375 y 1376, los cuales regulan las colecciones biológicas y los permisos de recolección de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, para la aplicación de la Decisión Andina 391 de 1996, respectivamente. Así, el Decreto 1375, artículo 4, parágrafo 1 establece que "las actividades de investigación científica básica con fines no comerciales que usen colecciones biológicas y que involucren actividades de sistemática molecular, ecología molecular, evolución y biogeografía molecular, no configuran acceso al recurso genético de conformidad con el ámbito de aplicación del presente decreto" y el Decreto 1376, artículo 2, parágrafo 5 determina que "las investigaciones científicas básicas que se adelantan en el marco de un permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines no comerciales y que involucren actividades de sistemática molecular, ecología molecular, evolución y biogeografía, no configuran acceso al recurso genético de conformidad con el ámbito de aplicación del presente decreto". También este mismo artículo establece en el parágrafo 6 que "para acceder a los recursos genéticos o productos derivados, con fines industriales, comerciales o de prospección biológica, de los especímenes recolectados en el marco de un permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica, el interesado deberá suscribir el contrato de acceso a recursos genéticos o productos derivados, de conformidad con la legislación nacional vigente".

Más tarde el Decreto 1348 de 2014, en su artículo 2, aclara cuáles actividades configuran acceso a los recursos genéticos y productos derivados que se realicen con especies nativas, bien sea en sus formas silvestre, domesticada, cultivada o escapada de domesticación, incluyendo virus, viroides y similares que se encuentren en el territorio nacional o fuera de este. Así, define que configuran acceso a recursos genéticos las actividades que pretendan la separación de las unidades funcionales y no funcionales del ADN o ARN en todas las formas que se encuentren en la naturaleza; y las que pretendan el aislamiento de una o varias moléculas, entendidas estas como micro y macromoléculas, producidas por el metabolismo de un organismo. En el parágrafo 2 de este mismo artículo 2, el Decreto 1348 aclara también que no configuran acceso a los recursos genéticos

y sus productos derivados las actividades señaladas en este artículo, que se realicen sobre los recursos genéticos y productos derivados de especies introducidas en sus formas silvestre, domesticada, cultivada o escapada de domesticación y los de origen humano -además de lo dispuesto en el parágrafo 1 del artículo 4 del Decreto 1375 de 2013 y del parágrafo 5 del artículo 2 del Decreto 1376 de 2013-.

En 2015 se emite la nueva Ley 1753 del PND, artículo 252, de primera amnistía, para quienes se encuentren realizando o hayan realizado actividades de investigación científica no comercial, o actividades con fines comerciales o industriales que configuren acceso a recursos genéticos o productos derivados sin contar con la autorización del MADS. Los investigadores tenían dos años para solicitar este contrato. La amnistía solo logró conciliar con un número bajo de investigadores, ya que no quedaron cobijadas las investigaciones que se hicieron sin permiso de colecta o aquellas que se hubieran exportado siguiendo proyectos de colaboración científica. Claramente este no era el caso de la inmensa mayoría de las actividades de investigación en este campo en el país, situación a la que se llegó por la enorme demora del MADS en la obtención de estos permisos.

En 2017 se emite la Resolución 1352 que modifica el artículo 2 de la Resolución 1348 adicionando que: "cuando se pretenda una solicitud de patente para productos o procedimientos obtenidos o desarrollados a partir de recursos genéticos o de sus productos derivados, el solicitante deberá presentar ante la oficina nacional competente, copia del contrato de acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados, en atención a las disposiciones contempladas en la Decisión Andina 486 de 2000".

En 2019, se aprueba el artículo 6 de la Ley 1955 del PND 2018-2022, de segunda amnistía para quienes hayan realizado acceso a recursos genéticos y productos derivados con fines de bioprospección sin contar con la autorización del MADS. Esta segunda amnistía sí contempla la excepción para las actividades de investigación que se estaban haciendo en el país, sin permiso de colecta. No se menciona el permiso de exportación en los casos de colaboración científica.

Actualmente, se encuentra en estudio la ratificación por la ley colombiana del Protocolo de Nagoya, el cual consideró como uno de sus objetivos

centrales, entre otros, "la participación justa y equitativa entre las partes de los beneficios que se deriven de la utilización de recursos genéticos, así como la relación existente entre el uso de estos recursos y los conocimientos tradicionales asociados a los mismos, su inseparable naturaleza para las comunidades indígenas y locales, así como la obligatoriedad del consentimiento previo de las mismas" (ONU, 2001, p. 1). En conclusión, este protocolo busca el beneficio y desarrollo de aquellos pueblos en los que se hace el descubrimiento del cual se van a derivar beneficios económicos.

Problemas de la ciencia básica con la normatividad colombiana sobre actividades en biodiversidad, recomendaciones y propuestas de solución

Problemas

La normatividad colombiana sobre biodiversidad ha acorralado a las ciencias básicas sobre los recursos genéticos o productos derivados de especies silvestres sin fines comerciales, ordenando la obligatoriedad de firmar un contrato de acceso antes de iniciar actividades de investigación. Este contrato no está diseñado para el ejercicio de actividades científicas básicas sobre los recursos genéticos, impide el desarrollo de la ciencia básica y la tecnología derivada de ella, es ineficaz y enredado.

Este contrato de acceso a recursos genéticos o productos derivados se aplica a todas las áreas del conocimiento básico sin fines comerciales, con excepción de la sistemática molecular, ecología molecular, evolución y biogeografía (Decretos 1375 y 1376 de 2013, artículo 4, parágrafo 1 y artículo 2, parágrafo 5, respectivamente). Posteriormente la Resolución 1348 de 2014 del MADS prohibió en forma tácita la incursión en las dos primeras áreas mencionadas (contradicción en la ley), señalando que no se puede hacer investigación básica (la sistemática y la ecología molecular son áreas básicas) sin el contrato mencionado en especies nativas (silvestres, domesticadas, cultivadas o escapadas de domesticación), virus, viroides y similares y productos derivados de ellas como ADN, ARN, micro y macromoléculas producidas en el metabolismo de los organismos vivos.

No se entiende cómo será posible estudiar sistemática y ecología molecular sin incursionar en el aislamiento de ADN.

Aún más, la reglamentación anterior -particularmente la Resolución 1348 como se mencionó en el subtítulo más arriba- impide a los investigadores colombianos hacer investigación básica sin fines comerciales. Esto implica dejar de lado las poderosas herramientas de biología molecular y las derivadas de la revolución de las "ómicas", lo que impide formar conocimiento básico del genoma, proteoma o metaboloma de las especies, accediendo al material genético como ADN y ARN, proteínas, enzimas, micro o macromoléculas. Con la secuenciación de genes y posterior aplicación de la bioinformática se pueden analizar cantidades muy grandes de información para conocer en menor tiempo y con gran exactitud la taxonomía de las especies. También en la genómica funcional se están haciendo estudios claves para optimizar las estrategias y planes de conservación y manejo de los recursos biológicos, pues la variación genética de las especies tiene efecto directo sobre su habilidad para responder a los cambios ambientales (resiliencia) a través de la adaptación.

Algunos trabajos de ciencia básica que pueden sustentar la plataforma de arranque de la bioeconomía sostenible, pero que no necesitan los trámites de acceso a recursos genéticos, son, por ejemplo, la generación de modelos tridimensionales que permiten predecir la estructura y función de las proteínas para entender las interacciones de gen-actividad biológica (por ejemplo enfermedades), y el conocimiento de las rutas biogenéticas en las especies, que podrían convertirse en puntos claves para la producción sostenible de bioproductos (últimas etapas del proceso de bioprospección), a los cuales se ha comprometido el país en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Otro tema importante para considerar es la ciencia básica que debe hacerse en los inicios de los estudios de microorganismos, hoy en día considerados una inmensa riqueza totalmente sin explorar, también obstaculizado por la normatividad arriba mencionada. Sin ciencia básica en bioquímica, biología y química, como adelantos en la química de los compuestos naturales, el país no hará contribuciones al conocimiento científico global, a pesar de que tiene una de las mayores biodiversidades del planeta. ¡Gran contradicción!

Recomendaciones

- Generar y estimular investigación en ciencia básica para conocer y proteger prioritariamente la biodiversidad en Colombia.
- Crear herramientas expeditas y eficaces, y hacer los cambios jurídicos necesarios para viabilizar la existente Política Pública de Estado en Biodiversidad en Colombia.
- Conformar un consejo de expertos que represente idóneamente las distintas áreas de la biodiversidad, de modo que bajo una visión unificada puedan hacerse los cambios que aseguren la soberanía del Estado colombiano sobre sus recursos vivos y que faciliten las investigaciones científicas en este campo.
- Promover los estudios de ciencia básica en centros de investigación desde donde se contribuya al conocimiento y a la conservación de la biodiversidad biológica, utilizando las técnicas de frontera –que a su vez utilizan material genético y productos del metabolismo de los organismos vivos–. Estas son etapas previas a la bioprospección, la cual sí deberá determinar finalmente la utilización sostenible de los recursos genéticos o productos derivados. También es importante mencionar que los estudios de genomas, proteomas, metabolomas y la genética funcional sientan importantes bases para la conocer la resiliencia de las especies en peligro y, por otro lado, aportan importante información antes de abordar la etapa de bioprospección y desarrollo de bioproductos.
- Implementar el artículo 5 del Protocolo de Nagoya, el cual enfatiza la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de conocimientos tradicionales asociados a los recursos genéticos de común acuerdo con las comunidades indígenas y locales poseedoras de dichos conocimientos. En la misma línea, implementar los artículos 8 y 9 que promueven la investigación científica básica.
- Promover la ciencia básica en biodiversidad con el fin de sentar las bases de una plataforma científica y tecnológica sólida y viable, que alimente los estudios de bioprospección.

- Promover la cooperación internacional para el desarrollo de las capacidades humanas e institucionales, y para potenciar nuestra infraestructura en el desarrollo de investigaciones básicas de frontera en este campo.
- Actualizar permisos de exportación no Cites (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), esenciales para los trabajos de investigación básica con pares científicos extranjeros. Colombia firmó esta convención en 2010, y entró en firme en 2014. Aún no es ley de la Nación, pero lo será si se ratifica.
- Considerar que en algunos casos la biopiratería sucede como consecuencia de la lentitud e ineficacia de los numerosos trámites para conseguir los permisos para acceder a los recursos genéticos o productos derivados.

Propuestas de solución en problemas normativos

Propuesta n.° 1. Reformar el Decreto 1375 de 2013, artículo 4, parágrafo 1, por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad de las colecciones biológicas con fines de investigación científica no comercial, y el Decreto 1376 de 2013, artículo 2, parágrafo 5, por el cual se reglamentan las investigaciones científicas básicas que se adelantan en el marco de un permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines no comerciales, y aclarar en el parágrafo 2, del artículo 2 de la Resolución 1348 de 2014, que no configuran acceso a recurso genéticos o productos derivados las investigaciones científicas de ciencia básica con fines no comerciales.

Texto propuesto para modificación de la legislación:

Artículo x. No configuran acceso a recursos genéticos y sus productos derivados las actividades científicas de ciencia básica con fines no comerciales realizadas por instituciones reconocidas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Todo proyecto científico o educativo que involucre

este tipo de actividades debe ser reportado al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible previo al inicio de su ejecución.

Si en el transcurso de la ejecución de estos proyectos científicos o educativos surgen elementos que permitan transformar esta investigación a una con fines comerciales, se procederá a realizar los trámites pertinentes para la negociación y firma de contrato de acceso a recursos genéticos, como lo expresa la Resolución 1352 de 2017 del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parágrafo. En caso de necesidad de servicios técnicos de análisis para estas actividades que no configuran acceso a recursos genéticos, el director del proyecto informará al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la institución en la cual se están realizando estas actividades, y con la radicación del oficio podrá movilizar y exportar el material.

Nota

Para viabilizar esta propuesta ayuda el argumento de que la promoción de la ciencia básica es consecuente con los artículos 8 y 9 del Protocolo de Nagoya (ONU, 2011), aparte "Consideraciones Especiales", el cual determina que los Estados parte del protocolo elaborarán y aplicarán normas que promuevan la investigación que contribuya a la conservación y al uso sostenible de sus componentes.

Propuestas de solución en problemas con trámites administrativos

Propuesta n.° 2. Adoptar un aparato institucional administrativo ágil y eficaz conservando las bondades del actual y modificando las muchas falencias que hacen desgastante los trámites administrativos del actual, teniendo en cuenta que la legislación colombiana está a punto de ratificar el Protocolo de Nagoya.

Propuesta n.° 3. Crear la "ventanilla única" para trámites administrativos de las actividades científicas en biodiversidad en Colombia.

Decisiones políticas y gubernamentales

Jairo Alexis Rodríguez López[19]
Diego Alejandro Torres Galindo [20]

Un aspecto clave de cualquier sociedad moderna es reconocer la importancia de las ciencias básicas y del espacio para la población y el gobierno, para tomar decisiones informadas no solo en ciencia y tecnología, sino también en otros aspectos técnicos de la vida colectiva. El Estado debe tener un contacto directo con los comités, consejos y oficinas especiales que apoyen las decisiones y los planes estratégicos en estos campos. Se han presentado tres propuestas de creación de organizaciones que deberán tener los más altos estándares de meritocracia y de reconocimiento a sus miembros entre la comunidad científica:

- Crear el Consejo Nacional de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Crear el cargo de asesor presidencial de ciencia.
- Crear un Comité Asesor de Asuntos Científicos para el Congreso de la República.

Se recomienda definir planes claros para las ciencias básicas y del espacio a corto, mediano y largo plazo para determinar el apoyo necesario por parte del Congreso y de los partidos políticos. Actualmente hay fuertes dependencias económicas y políticas para el desarrollo de la investigación científica básica, relacionadas con la incertidumbre sobre la distribución

19 Doctor en Física de la Universidad Nacional de Colombia, decano de la Facultad de Ciencias de la misma institución y miembro de la Secretaría Técnica del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

20 Doctor en Física Nuclear de la Universidad Nacional de Colombia, profesor del Departamento de Física de la misma institución y miembro de la Secretaría Técnica del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

política y geográfica de los recursos fundamentales, relacionadas con el modelo político de gobierno local. Con el modelo existente es imposible crear políticas nacionales que puedan beneficiar a Colombia y al mundo, pues no hay una articulación entre el Plan de Acuerdo Estratégico Departamental (PAED), el Consejo Departamental de Ciencia Tecnología e Innovación (Codecti) y el Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD), por lo cual no hay planes a mediano y largo plazo. Las ciencias básicas y del espacio necesitan estrategias y planes estables hacia el futuro con un fuerte compromiso por parte del Gobierno y la sociedad.

La Comisión del Espacio está coordinada por la Vicepresidencia de la República, sin embargo aún no se ha manifestado un interés claro para el desarrollo investigativo de la ciencia espacial en Colombia. Para ese propósito se han planteado dos alternativas:

- Crear la Agencia Espacial Colombiana, con la participación de los ministerios de Defensa, Minas y Energía y Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Iniciar el desarrollo de las ciencias del espacio bajo la coordinación del Ministerio de Defensa, relacionado con los conceptos de soberanía y posición geográfica estratégica de Colombia.

Como sociedad, Colombia ha construido muros de desconfianza en varios niveles, que afectan directamente cualquier plan de desarrollo en las ciencias básicas y del espacio. El desarrollo de planes de investigación, programas educativos y de estrategia internacional, la construcción de una infraestructura científica, entre otros proyectos, se ven obstaculizados por las regulaciones de las leyes basadas en la desconfianza. Por ejemplo, el Programa de Regalías, creado para respaldar el desarrollo de ciencia y tecnología, está ordenado por la misma reglamentación y filosofía pensada para la construcción de infraestructura, que es una de las principales fuentes de corrupción en el país. Como consecuencia, la mayor parte del tiempo los proyectos de investigación en ciencias se dedica al manejo de problemas legales, con una incertidumbre permanente respecto a la transparencia del organismo de control. Para intentar remediar estos inconvenientes, proponemos:

- Un “pacto social para la confianza en la ciencia”.

- Crear leyes que incentiven la investigación a través de la exención de impuestos para la importación de equipo científico, que facilite el procedimiento de los proyectos en desarrollo.
- Agilizar el reconocimiento de títulos académicos internacionales.
- Crear programas estratégicos nacionales para ciencia básica y tecnología que incentiven las alianzas regionales y locales, y que respondan a las grandes preguntas sobre estas áreas del conocimiento.

Por otra parte, hay un exceso de burocracia y frecuentes malentendidos entre los conceptos de *ciencia*, *tecnología* e *innovación*. En este sentido sería conveniente:

- Separar el sistema de *ciencia y tecnología* del sistema de *innovación*.
- No supeditar el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación existente al Sistema de Competitividad.
- No aplicar las mismas lógicas de un proyecto de infraestructura a la creación y desarrollo de proyectos de ciencia y tecnología.
- Los científicos deben ejercer un control social para reducir la corrupción en el sector público y privado de Colombia. A pesar de que esto no es parte de su campo de acción, la corrupción es un problema en el que toda la sociedad debe estar interesada para lograr mayores y mejores resultados en investigación e innovación. En consecuencia, el empoderamiento en esta materia es muy importante, pues debe generar un cambio de mentalidad sobre cómo tener una mejor sociedad y un mejor país.
- De acuerdo con su carrera, los científicos podrían recibir honorarios por parte del Gobierno y una beca por la producción en investigación e innovación. Por ejemplo, México tiene una beca para científicos *junior* y *senior* que facilita a los investigadores e innovadores permanecer en su país.

El Gobierno nacional puede apropiarse de estas iniciativas para convertirlas en uno de sus grandes propósitos, reconociendo la importancia de las ciencias básicas y del espacio en el desarrollo del país, un consenso internacional que debe incorporarse en nuestra sociedad.

Diplomacia científica[21]

Antonio Julio Copete Villa[22]

Las capacidades de un país en ciencia, tecnología e innovación (CTeI) se desarrollan fundamentalmente de dos maneras. Una es interna y orgánica, principalmente a través de sus instituciones y del sistema educativo. La otra es a través de la importación de capacidades desarrolladas en el exterior a través de mecanismos de internacionalización. Si bien el primer mecanismo siempre será necesario e indispensable, también es necesario reconocer que los procesos orgánicos son generalmente largos, costosos y de lenta evolución. Los procesos de internacionalización, por otra parte, son procesos dinámicos en los que se pueden lograr grandes avances en tiempos relativamente cortos y con favorables relaciones costo-beneficio, acelerando y permitiendo dar saltos en procesos de desarrollo conocidos en inglés como *leapfrogging*.

Los procesos de internacionalización pueden tener un impacto aún más notable e inmediato en países como Colombia, que combinan un modesto aunque creciente grado de capacidades y conexiones en CTeI con el ecosistema global. Ya se tiene en el país buenos ejemplos con décadas de existencia, pero que generalmente se caracterizan por estar dispersos y ser liderados por instituciones individuales, normalmente universidades.

En las últimas décadas la *diplomacia científica* ha cobrado gran importancia entre los mecanismos de internacionalización en CTeI. Consiste en emplear las herramientas de la diplomacia y la cooperación para promover el intercambio internacional de los insumos fundamentales de la CTeI: *talento*,

21 El autor agradece a Charlie Ruth Castro, David Luna Sánchez, Simón Büchler, Eduardo Enríquez, Liz Lozano.

22 Doctor en Física de la Harvard University, Estados Unidos. Director de Capacidades y Divulgación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y miembro de la Misión Internacional de Sabios 2019.

ideas y *conocimiento*. Así concebida, la diplomacia científica complementa mas no reemplaza otros mecanismos de internacionalización. Por una parte, se convierte en una plataforma de orden nacional para conectar desarrollos y oportunidades con otros países, especialmente con centros globales de educación, investigación e innovación; y por el otro, los ofrece al servicio de personas e instituciones de todos los sectores -academia, empresa, Estado y sociedad-.

Igualmente, la diplomacia científica es una herramienta de política pública que incluye la cooperación entre países para afrontar retos científicos y tecnológicos comunes, a través de la participación en organizaciones e iniciativas de carácter multilateral. Sus objetivos globales se pueden resumir en tres dimensiones: 1) informar la política internacional con asesoramiento científico (*ciencia en la diplomacia*), 2) facilitar la cooperación científica internacional (*diplomacia para la ciencia*), y 3) usar la cooperación científica para fortalecer las relaciones entre países (*ciencia para la diplomacia*), (The Royal Society [TRS] & American Association for the Advancement of Science [AAAS], 2010).

La diplomacia científica es un campo relativamente nuevo, pero ya cuenta con una activa comunidad en diferentes partes del mundo tanto en lo académico e investigativo como en lo práctico. También es un campo en constante evolución, y por eso requiere de una plataforma ágil y flexible, con estructuras horizontales y que involucren múltiples actores a nivel global, con una cultura de permanente experimentación y exploración. Ejemplos notables incluyen la red de consulados científicos y tecnológicos de Suiza (Swissnex), que consta actualmente de 5 consulados en centros mundiales de investigación e innovación, más oficinas y agregados en otras 20 representaciones diplomáticas; la Science and Innovation Network (SIN) del Reino Unido, con más de 100 representantes en más de 40 países; el Innovation Center Denmark (ICDK), de Dinamarca, que consta de 8 centros de innovación alrededor del mundo. Países latinoamericanos como México y Brasil también cuentan con estructuras de diplomacia científica que pueden servir como modelo. Muchos de estos países y sus instituciones estarían en disposición de asistir a Colombia en materia de cooperación y difusión de buenas prácticas.

Además de redes de consulados y personal diplomático, otros actores notables de la diplomacia científica incluyen: la diáspora -académicos, investigadores y emprendedores-; negocios y empresas de plataforma científica y tecnológica -desde emprendimientos hasta compañías multinacionales-; organizaciones multilaterales, fundaciones y las ONG científicas internacionales; redes formales e informales de académicos y emprendedores, entre otros.

En cuanto al portafolio de labores de diplomacia científica, cabe destacar un número de actividades que cada vez cobran mayor auge a nivel mundial, más allá de las tradicionales relacionadas con el establecimiento de colaboraciones académicas internacionales. Estas actividades incluyen: el relacionamiento con el sector privado en todas las escalas, desde el apoyo a emprendimientos en ciencia y tecnología hasta la prestación de servicios a grandes compañías; la identificación de oportunidades y desarrollos en CTeI en un ecosistema mundial en permanente cambio y crecimiento, sirviendo como "ojos y oídos" del país; la transferencia de buenas prácticas en materia de políticas en CTeI; la diplomacia pública, para comunicar las prioridades y necesidades del país en CTeI; la negociación e implementación de acuerdos internacionales en CTeI. Para estas y otras actividades es posible desarrollar métricas e indicadores que permitan medir el éxito de determinadas estrategias, y así realizar ajustes que permitan constantemente ampliar su alcance y mejorar su efectividad (DiploFoundation, 2018; DiploFoundation & AAAS, 2019).

Recomendaciones

- Establecer una política nacional de diplomacia científica, liderada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en colaboración con el Ministerio de Relaciones Exteriores. Entre las tres grandes dimensiones de la diplomacia científica, son prioritarias las estrategias de *diplomacia para la ciencia*; es decir, la utilización estrategias de diplomacia y cooperación para el desarrollo de capacidades en ciencia, tecnología e innovación.

- Establecer misiones y cargos diplomáticos especializados en promover intercambios en educación, investigación e innovación con diferentes países y regiones del mundo, con potencial participación del sector privado en su estructura y financiación. Esta estructura puede aprovechar la presencia que ya tiene Colombia con representaciones en ecosistemas globales como Boston, San Francisco, Shanghái, Seúl, etc.
- Crear una cátedra de Diplomacia Científica dentro del currículo académico para funcionarios de carrera y otros cargos diplomáticos del Ministerio de Relaciones Exteriores. Dirigir esta estrategia a la diáspora académica colombiana que incluya una cátedra básica en Diplomacia Científica y el establecimiento de mecanismos de articulación con misiones y funcionarios diplomáticos alrededor del mundo.
- Crear el cargo de asesor científico del Ministerio de Relaciones Exteriores, como asesor del canciller y punto de enlace del ministerio con otras entidades gubernamentales en materia de ciencia, tecnología e innovación.

Regionalización y equidad

Antonio Julio Copete Villa[23]

En un sentido amplio, es importante entender las dinámicas de orden cultural del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), que generalmente se encuentran en la raíz de muchas de las problemáticas más fundamentales y estructurales del sistema. Las dinámicas culturales requieren de estrategias y soluciones de una naturaleza distinta de las dinámicas de orden técnico, como las barreras normativas y financieras. Gran parte de su complejidad se debe a que no son reducibles a estrategias y soluciones de tipo prescriptivo, y su evolución se da lentamente y requiere de una cuota de corresponsabilidad entre varios actores. Las ciencias básicas y del espacio, por supuesto, no son ajenas a estas dinámicas culturales, y en ciertos aspectos inclusive se pueden ver más seriamente afectadas que otros campos.

Este apartado se enfoca en la incidencia de la diversidad cultural sobre las disciplinas de las ciencias básicas y del espacio, tanto a nivel territorial como a nivel social. Aunque a Colombia se la reconoce y precia por esta diversidad, en muchas ocasiones no solo se desaprovecha sino que se puede transformar en un impedimento, particularmente para los sectores marginados del sistema. Estos sectores incluyen, pero no se limitan, a minorías regionales y étnicas, mujeres, personas de estratos socioeconómicos bajos, personas en condición de discapacidad, y personas en grupos de edades por encima o por debajo del común de cada determinado nivel académico.

Para informar este trabajo visitamos 29 municipios de 18 departamentos (de 32) en las 5 regiones naturales del país (figura 9), donde tuvimos espacios de diálogo abierto con actores de todos los sectores del ecosistema

23 Doctor en Física de la Harvard University, Estados Unidos. Director de Capacidades y Divulgación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y miembro de la Misión Internacional de Sabios 2019.

regional y local de ciencia, tecnología e innovación: academia, empresa, Estado y sociedad. Aunque es imposible generar una propuesta de país que tenga en cuenta todas las particularidades de cada una de estas regiones y sus grupos sociales, este documento intenta responder a algunas de las dinámicas transversales más comunes. Las propuestas en regionalización y equidad se han dividido en dos grandes áreas: 1) educación, 2) gobernanza y articulación entre los actores de los ecosistemas regionales.

Figura 9. Mapa de visitas regionales.

Educación

Una estrategia de aprovechamiento del capital intelectual necesita ser consciente de la crucial diferencia que existe entre *talento intelectual* y *preparación académica.* Mientras que el talento se encuentra distribuido entre todos los sectores sociales, la preparación está altamente correlacionada con el estatus socioeconómico y otros factores demográficos. Se ha demostrado que los exámenes estandarizados que se usan normalmente como puerta de acceso al estudio de áreas especializadas no son tan útiles como medida absoluta de talento y potencial profesional a largo plazo, y pueden servir más como diferenciador entre individuos con similar preparación y condición social. En consecuencia, en un país con grandes inequidades como Colombia, la brecha entre talento y preparación se hace aún más visible y determinante para las aspiraciones profesionales de cualquier individuo, pues el sistema colombiano en líneas generales tiende a privilegiar la preparación sobre el talento. Esto es particularmente cierto para áreas como las ciencias básicas y del espacio, que se caracterizan por requerir una rigurosa formación intelectual, sin la garantía de un gran retorno económico inmediato.

Estas dinámicas son aún más dramáticas y relevantes para miembros de grupos subrepresentados en estas disciplinas, como los grupos marginados. La baja representación de estos grupos constituye al mismo tiempo una gran oportunidad de enriquecimiento de las capacidades del país, a través de estrategias relativamente sencillas que promuevan y estimulen su participación en el SNCTI.

El principio general que se propone aplicar es el de *excelencia incluyente.* Es decir, un principio que entienda la inclusión y la diversidad como componentes fundamentales de cualquier sistema que busque la excelencia; que comprenda la excelencia y la inclusión como aspiraciones mutuamente complementarias, en vez de mutuamente excluyentes. Esto implica ir más allá de nociones clásicas del concepto de "acciones afirmativas", que básicamente consisten en aplicar un estándar diferente -normalmente más bajo- a miembros de ciertos grupos demográficos, normalmente en procesos de admisión.

En contraste, la excelencia incluyente consiste en entender el mérito y la excelencia misma como una característica multidimensional, que no solo incluye competencias cuantificables como las que son medibles en exámenes estandarizados y credenciales académicas, sino competencias cualitativas como son las capacidades de liderazgo y relacionamiento social, el conocimiento de los territorios y las comunidades, las capacidades críticas, las capacidades de experimentación y de resiliencia, entre otros. Este principio es aplicable no solamente para procesos de admisión al sistema educativo, sino también para procesos pedagógicos, de evaluación y de promoción dentro del sistema educativo mismo.

Acceso

Se propone la introducción de *mecanismos de evaluación más integrales*, donde los puntajes en exámenes estandarizados sean solo uno de múltiples factores para determinar el ingreso a instituciones de educación superior. Se busca lograr procesos que evalúen al individuo en su contexto, valoren el aporte diferente y original derivado de sus experiencias de vida, y comprendan y evalúen talentos y logros a lo largo de múltiples dimensiones.

Para los estudiantes, esto supone desarrollar modelos que valoren más el balance entre múltiples factores que los logros en solo un número limitado de áreas. Una consecuencia debe ser que los aspirantes que demuestren un equilibrio entre competencias cuantitativas y cualitativas puedan ser evaluados más favorablemente que, por ejemplo, aquellos cuya única o principal credencial sean puntajes sobresalientes en exámenes estandarizados.

Para los educadores y los directivos, esto supone ir más allá de la valoración de credenciales laborales y académicas, tanto para la vinculación como para la evaluación y promoción Es necesario también valorar el conocimiento del entorno y el contexto en el que se realiza la labor académica, como la sensibilidad y el compromiso con los sectores sociales hacia los que va dirigido el trabajo, incluyendo en particular los sectores periféricos del ecosistema. La participación proactiva en programas de divulgación y extensión es un componente fundamental de esta evaluación.

Acompañamiento

Lograr y mantener un cuerpo estudiantil cada vez más diverso y robusto requiere de una cultura institucional con capacidad de adaptación en ambos sentidos, tanto del estudiante a la institución como de la institución al estudiante. Esto requiere un trabajo y un compromiso sostenido no solo por parte de estudiantes sino de profesores, administradores y directivos.

Se propone crear una serie de principios básicos y buenas prácticas para acompañar los procesos de adaptación de estudiantes al contexto académico, con particular atención a aquellos pertenecientes a grupos subrepresentados. Ejemplos de prácticas implementadas exitosamente en instituciones de excelencia de otros países incluyen la consideración de múltiples factores además del promedio académico en decisiones sobre la continuidad y el sostenimiento del estudiante, e inclusive la eliminación del promedio académico en los primeros semestres, en atención a las grandes diferencias en preparación que naturalmente se pueden esperar en esta etapa.

Financiación

Un modelo de educación de excelencia incluyente debe tener en cuenta las necesidades de sostenimiento del estudiante de una forma integral, que tenga en cuenta no solo las que se dan por dentro sino también por fuera de la institución educativa, y que de esa forma le permita priorizar sus actividades académicas sin importar su condición económica. Esto es aún más importante para estudiantes sin una sólida red de apoyo en la ciudad en la que cursan sus estudios, y para quienes costos como el alojamiento y la manutención son una gran preocupación que puede influir negativamente en su rendimiento académico.

Se propone introducir y reforzar planes de financiación de educación superior que tengan en cuenta el *costo total* del programa académico, más allá de solo los costos de matrícula. Esto es aún más crucial para programas con la expectativa de una preparación exigente y rigurosa, como lo son las disciplinas de las ciencias básicas y del espacio, y cualquier otro programa de excelencia académica.

Programas extracurriculares

En la educación básica y media todavía existen grandes deficiencias en la formación de las competencias necesarias para actividades de investigación e innovación. Esto es aún más evidente para los sectores regionales y sociales en la periferia del SNCTI, y a pesar de la necesidad indiscutible de mejorar la calidad del recurso humano y técnico en las instituciones educativas, también se reconoce que estos son procesos lentos, costosos y con resultados altamente variables.

Se propone el fortalecimiento de los programas extracurriculares en educación básica y media para la formación de competencias en investigación e innovación. Estos no solo complementan la formación escolar -aún si es de alta calidad-, sino que aportan una valiosa perspectiva adicional al estudiante, al permitirle desplegar su potencial a nivel regional, nacional e inclusive internacional. Dada la diversidad de talentos y formas de aprendizaje, es importante la existencia de programas que enfaticen diferentes áreas de las disciplinas STEM ('ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas'), e inclusive las integren con las disciplinas de las artes y humanidades (el llamado enfoque STEAM). También es importante la diversidad en modelos pedagógicos, que incluyen desde la formación menos estructurada basada en proyectos concebidos por los propios estudiantes, hasta una más estructurada basada en competiciones de resolución de problemas.

Ya existen en el país buenos ejemplos de estos modelos, desde programas concebidos en el orden nacional como Ondas de Colciencias (ahora MinCTeI), Tecnoacademias del SENA, y las Olimpiadas Científicas (matemáticas, física, computación, astronomía) de la Universidad Antonio Nariño, hasta iniciativas de orden local más adaptadas al contexto y características de regiones particulares. Al mismo tiempo, es necesario someter estos programas a un proceso continuo de experimentación, en el que se desarrollen mediciones adecuadas de impacto, y se preserve y aumente la oferta de los que se consideren más efectivos, para asegurar no solamente que lleguen a todas las regiones del país, sino que logren un nivel de penetración suficiente en cada región.

Educación superior subregional

En paralelo con la formación universitaria integral que se puede ofrecer solo en ciertas capitales departamentales y municipios principales, es importante estimular el fortalecimiento de una red de instituciones de educación superior al nivel subregional que atienda las necesidades de pequeños municipios y de comunidades con características especiales (tales como consejos comunitarios afrocolombianos y resguardos indígenas), y que sirva como puente tanto entre la formación media y el mercado laboral, como entre el nivel subregional y el nivel departamental y nacional.

La primera Misión de Sabios, en su informe *Colombia: al filo de la oportunidad* (1994), ya había propuesto este modelo a través de los Institutos de Innovación Regional (Innovar), que a su vez estaban basados en el modelo del *community college* de Estados Unidos. En palabras del informe, los Innovar serían instituciones de educación e investigación para municipios de menos de 100 000 habitantes "dedicados al desarrollo de conocimiento acerca de las tareas propias de la región, a la investigación y al desarrollo agropecuario, minero, pesquero, etc., según las características de la región, en íntima asociación con los productores, a quienes deberá transferir continuamente sus resultados", con el fin de "descentralizar, desconcentrar y distribuir por todo el territorio nacional el talento intelectual y científico-técnico, así como las competencias y las actividades investigativas". El Estado asignaría los recursos para el establecimiento de "por lo menos un Innovar en cada uno de los departamentos del país, empezando por aquellos de menor desarrollo relativo".

Veinticinco años después sigue la deuda pendiente con estas regiones. En la actualidad existe un solo Innovar en el país que funciona bajo ese nombre, ubicado en el municipio de Purificación (Tolima), (figura 10), y que formó parte de las visitas que sirvieron como base de este trabajo. Aún con las dificultades para su sostenimiento, presta un servicio valioso a los habitantes de la región, y a un costo relativamente bajo para ellos.

Al mismo tiempo, en este periodo ha habido un desarrollo paralelo de modernización en instituciones públicas, en un espíritu similar al de los Innovar y que vale la pena destacar. Entre ellos se encuentra la infraestructura del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del

Figura 10. Instituto de Innovación Regional (Innovar) en Purificación, Tolima.

SENA (Sennova), y la red de estaciones de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia, antiguo Corpoica), con presencia en diversas regiones que también hicieron parte de este trabajo.

El reto es entonces el consolidar la red de instituciones de educación e investigación de vocación subregional que operan bajo la misión original de los Innovar y, como en el caso de los programas extracurriculares, desarrollar mediciones adecuadas de impacto y asegurar su diseminación por todas las regiones del país. Es importante enfatizar su articulación explícita con la industria y el mercado laboral, así como con el resto de la red regional y nacional de instituciones de educación superior.

Gobernanza y articulación

Una robusta estructura de gobernanza es fundamental para el fortalecimiento de capacidades regionales en ciencia, tecnología e innovación (CTEI). El Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTEI) del Sistema General de Regalías (SGR), establecido en 2012, se ha convertido en una excelente

oportunidad para avanzar en ese propósito, así como para cerrar brechas regionales, pues los departamentos con indicadores socioeconómicos bajos reciben proporcionalmente más recursos. Al mismo tiempo, el proceso ha evidenciado grandes falencias en el funcionamiento de los ecosistemas regionales, a las que este documento tiene el propósito de dar respuesta.

La estrategia general que se propone está enfocada en la *creación de capacidades* al nivel regional. Esto empieza por avanzar en la dirección de otorgar cada vez más responsabilidades a los entes regionales, los cuales manifiestan tener una autonomía fuertemente limitada por el orden nacional. Una mayor autonomía al mismo tiempo requiere procesos de fortalecimiento de las competencias necesarias, en cooperación con las entidades nacionales y con pares regionales.

Todo sistema dinámico de CTeI requiere de una estrategia de *exploración* en conjunto con una estrategia de *explotación*. Es decir, un proceso constante de creación de nuevo conocimiento y capacidades (exploración), al mismo tiempo que aprovecha capacidades existentes para generar retornos económicos y sociales a corto plazo (explotación). Sin embargo, en los sistemas y planes estratégicos regionales se observa un enfoque casi exclusivo en estrategias de explotación, en perjuicio de las estrategias de exploración, lo cual impide el adecuado crecimiento y adaptación del ecosistema de CTeI. Las ciencias básicas y del espacio cumplen un papel fundamental dentro de cualquier estrategia de exploración, por eso requieren un espacio explícito dentro de la concepción y el diseño de dichas estrategias.

También merece especial mención la problemática de falta de articulación entre los actores regionales: academia, empresa, Estado y sociedad. Esta ha sido una de las preocupaciones más recurrentes expresadas a lo largo de la serie de espacios de diálogo con entes regionales, y su origen se basa no solo en barreras de naturaleza técnica, sino a un nivel más fundamental en las diferencias en mentalidad, incentivos, prioridades y medidas de éxito de cada uno de estos actores.

Estructura

Los Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación (Codecti) son el estamento para "orientar la formulación, implementación

y gestión de políticas públicas de CTeI a nivel territorial", en articulación con el ente rector del SNCTI (Decreto 584 de 2017). Su principal cualidad es la de agrupar representantes de todos los sectores del ecosistema departamental de CTeI, y por eso mismo su funcionamiento es indicativo del ecosistema como un todo.

Se propone fortalecer y ampliar la autonomía de los Codecti, en consonancia con los objetivos de descentralización del SNCTI. Al mismo tiempo, es necesario fortalecer los procesos de selección y capacitación de sus miembros. Algunas de las deficiencias más recurrentes que se observaron incluyen la presencia de miembros que actúan más en función de sus intereses particulares que los del sector que representan, y de falta de capacitación en la concepción y prospectiva de lo que constituye un sistema departamental de CTeI.

En cuanto al papel de las gobernaciones, si bien el delegado de la Gobernación preside el Codecti, es importante que se garantice la independencia de otros miembros para proponer y sacar adelante iniciativas que no necesariamente cuenten con la aprobación de la Gobernación, y así estimular la existencia y continuidad de iniciativas de región que se encuentren por encima de los procesos políticos.

Igualmente, se espera que a medida que aumente el presupuesto y las responsabilidades del sistema departamental de CTeI, se justifique la necesidad de crear secretarías departamentales y municipales de ciencia, tecnología e innovación, junto con la vinculación de personal idóneo para realizar esta labor. El departamento de Cundinamarca se convirtió en el primero en crear esta figura, y es un ejemplo de gestión exitosa de su presupuesto del FCTeI de regalías, como lo muestran los resultados de los primeros años de ejecución de estos recursos.

Planeación

Los planes y acuerdos estratégicos departamentales en CTeI (PAED) "identifican y priorizan las actividades que se desarrollarán" en los departamentos, en consonancia con los planes de desarrollo nacionales y departamentales, y su actualización está a cargo de los Codecti (Decreto 293 de 2017). A su vez, el esquema de convocatorias públicas, abiertas y competitivas del

FCTeI del Sistema General de Regalías debe estructurarse a partir de los PAED (Ley 1923 de 2018).

Una de las principales barreras que se observan para el desarrollo de las ciencias básicas y del espacio a nivel regional es su ausencia generalizada en los planes de desarrollo departamentales y del orden de prioridades establecido en los PAED, esto ha resultado en un número muy bajo de proyectos en estas disciplinas aprobados para ser financiados por el FCTeI. Lo cual ha sido confirmado por investigadores en estas áreas de diversas regiones, que no han logrado acceder a estos recursos, y se origina en una visión limitada y de corto plazo de lo que se entiende como actividades de "impacto regional" en el marco de los PAED.

Si bien se respalda la existencia de instrumentos de planeación regional como los PAED, y su elaboración por parte de consejos multisectoriales como los Codecti, es importante que estos no se limiten a la explotación de capacidades regionales existentes para lograr retornos inmediatos. Se recomienda que en los lineamientos de elaboración y actualización de los PAED se incluyan estrategias de *exploración* o de creación constante de nuevo conocimiento y nuevas capacidades, entre ellas en ciencias básicas y del espacio. Estas estrategias se deben ver reflejadas en todos los componentes del PAED o instrumento de planeación correspondiente, incluyendo la visión estratégica, los focos temáticos, las líneas programáticas y los proyectos.

Desarrollo de capacidades

La eficacia de las estructuras de gobernanza y planeación solo se hace posible en la medida en la que las entidades regionales y sus representantes cuenten con las capacidades para hacer uso óptimo de ellas. Para eso es necesario establecer procesos efectivos en el desarrollo de capacidades, con una visión pedagógica y de crecimiento constante y sostenido.

Se propone que las actividades de desarrollo de capacidades se den en 3 niveles: 1) a nivel vertical entre los miembros de cada sector y sus representantes ante el Codecti u órgano regional de CTeI; 2) a nivel vertical entre los Codecti y los entes de orden nacional; y 3) a nivel horizontal entre pares regionales.

El primer y más fundamental vínculo es el que existe entre los miembros de los sectores de la academia, la empresa, el Estado y la sociedad, y sus representantes a nivel local y regional. Para que la representación sea efectiva, la interacción entre estos debe ser fluida y constante, y no se puede dar por descontada. Los gobiernos nacional y departamental deben estimular el desarrollo de capacidades en los miembros del Codecti a través de visitas, foros y otros espacios de intercambio intrasectorial, a los que se necesitan destinar el tiempo y recursos adecuados para su realización.

Las actividades de desarrollo de capacidades entre los Codecti y los entes nacionales y regionales deben darse dentro de un marco pedagógico y con visión de largo plazo. Un ejemplo es la Cátedra CTeI de la División de Gestión Territorial de Colciencias/Min CTeI, dirigida al personal técnico encargado de la formulación de proyectos de CTeI a nivel regional, y a las personas interesadas en la estructuración de proyectos y toma de decisiones de políticas regionales. La interacción a nivel horizontal se aborda en la siguiente sección.

Difusión de buenas prácticas

No es posible culminar este documento sin reconocer la labor efectiva que realizan muchas instituciones locales, y que evidencian el gran potencial de las regiones en materia de CTeI. Muchas de las buenas prácticas que se aspira implementar en el país ya se están dando en muchos lugares, como lo muestran muchos ejemplos de las visitas regionales realizadas a lo largo de este trabajo. El reto en ese caso es lograr la difusión efectiva de estas prácticas a otras regiones y en general promover la cooperación interregional.

Entre las razones por las cuales estas dinámicas de difusión no se dan al nivel deseado se incluyen la fuerte diferenciación entre regiones, y el tradicional privilegio a la relación vertical región-nación, en perjuicio de la relación horizontal región-región. Las regiones que se ven particularmente perjudicadas por estas dinámicas son las subregiones que cuentan con más similitudes con subregiones de otros departamentos que con sus propias capitales, como es el caso del litoral pacífico, el Magdalena medio y la depresión momposina, entre otros.

Se propone crear iniciativas para identificar, reconocer y visibilizar las buenas prácticas en gestión regional de la CTeI, y asimismo crear espacios pedagógicos y de divulgación para promover la difusión de estas prácticas de manera horizontal, entre pares regionales. Algunos de los criterios para otorgar estos reconocimientos incluyen: la participación de múltiples actores, las iniciativas de base de la pirámide, la inclusión de sectores subrepresentados, el logro de múltiples objetivos (por ejemplo la apropiación social junto con creación de conocimiento), entre otros.

Resumen de las propuestas presentadas por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio

Durante el trabajo del foco se produjo una gran cantidad de propuestas en los diferentes aspectos que le concernían en el marco de la misión. Estas propuestas se presentan acá listadas en forma muy sintética (con el formato de oraciones únicas en viñetas). Las explicaciones y los comentarios más amplios se encontrarán en los documentos del foco. Los agruparemos en tres ámbitos: 1) propuestas de carácter general y transversal; 2) propuestas relacionadas con normas o manejos administrativos que entorpecen en alguna forma la ejecución de la ciencia; y 3) propuestas en el ámbito de la educación (la mayoría adicionales o complementarias a las que se acogen en la Misión de Educación).

Propuestas de carácter general y transversal

- Financiar en forma sostenida y creciente la ciencia, la tecnología y la innovación (CTeI) en el país, mediante fuentes públicas y privadas adicionales.
- Comprometer al Gobierno con una "Ley de la Misión" que incluya algunas de las recomendaciones generales.
- Crear el Consejo Nacional de Política de Ciencia Tecnología e Innovación.
- Establecer los cargos de asesor presidencial de ciencia y el Comité Asesor de Asuntos Científicos para el Congreso de la República.
- Crear un "pacto de confianza en la ciencia para la sociedad".
- Establecer por norma la obligatoriedad de que un porcentaje del presupuesto de inversión de los ministerios sea dedicado a la investigación científica.
- Reforzar la institucionalidad regional y local de CTeI.
- Crear planes estratégicos nacionales para ciencia básica y tecnología que incentiven las alianzas regionales y locales, y que respondan a las grandes preguntas sobre estas áreas de conocimiento.
- Separar el Sistema de Ciencia y Tecnología del Sistema de Innovación.
- No supeditar el sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación existente al Sistema de Competitividad.
- Crear la Agencia Colombiana del Espacio (de carácter civil) con la participación de los ministerios de Defensa, Minas y Energía y Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Iniciar el desarrollo de las ciencias del espacio bajo la coordinación del Ministerio de Defensa, relacionado con los conceptos de soberanía y posición geográfica estratégica de Colombia.
- Retomar proyectos espaciales tanto en puesta en órbita de satélites como de estaciones terrestres.

- Ampliar la capacidad investigativa de las universidades, centros e institutos con un programa nacional de renovación y compartición de equipos robustos.
- Consolidar un programa de diplomacia científica.
- Conformar programas de movilidad nacional e internacional para científicos profesionales y en formación.
- Crear un programa de apoyo en procesos de patentes y de propiedad intelectual, y de apoyo a la posterior transferencia de conocimiento proveniente de estos procesos.
- Reforzar programas de ciencias básicas con impactos en la transformación energética y en la conservación ambiental.
- Generar programas liderados por el Estado para promover alianzas entre la academia y la empresa. Un mecanismo es la creación de un conjunto de leyes que incentiven la investigación a través de la exención de impuestos para la importación de equipos científicos, además de facilitar los procedimientos de proyectos de investigación que se encuentran en desarrollo.
- Redefinir una política de institutos y centros que incluya los diferentes actores involucrados: institutos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, centros de ciencias, laboratorios nacionales, centros de excelencia, etc.
- Ampliar el espectro de áreas y líneas de investigación de institutos y centros para aumentar la masa crítica en ciencia y tecnología para el país. Unos de estos centros pueden tener el carácter de "centros por demanda", que tengan una buena capacidad para responder problemas del sector productivo en forma presta y eficiente.
- Los científicos y la comunidad científica deben jugar un rol activo en el control y reducción activo de la corrupción a todo nivel en Colombia.

Propuestas de modificaciones normativas para el manejo de la ciencia, tecnología e innovación

- Retomar las disposiciones de la Ley 29 de 1990 y de la Ley 1286 de 2009 y decretos reglamentarios, para aplicar el régimen privado de contratación a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación.
- Reglamentar periodos de ejecución plurianuales para las actividades de investigación científica y para las instituciones públicas que las llevan a cabo.
- Ajustar la normatividad de presentación de proyectos estrictamente a aquellas que son específicas para actividades de ciencia, tecnología e innovación. Modificar el sistema MGA usado en los proyectos financiados por regalías o cambiarlo por uno que esté de acuerdo con las especificidades de los proyectos de CTeI.

El Gobierno nacional y la Dirección Nacional de Planeación deben entender que la lógica de creación y desarrollos de proyectos de ciencia y tecnología no tiene las mismas lógicas de un proyecto de infraestructura. En este sentido se sugiere:

- Modificar el esquema de seguimiento y de evaluación de los proyectos de investigación de acuerdo con la flexibilidad que deben tener los procesos de investigación científica.
- Adoptar normativamente la figura del *overhead* (en montos que cubran en forma realista al menos los costos indirectos) para los proyectos financiados por el Estado desde sus diferentes fondos.
- Revisar las normas y guías que exigen estudios previos para el caso de proyectos de investigación y de innovación.
- Establecer fondos de capital de riesgo para el apoyo de proyectos de CTeI.

- Replantear el régimen de propiedad intelectual de forma que incentive la inversión y el desarrollo. Incentivar la creación de oficinas de transferencia de conocimiento.
- Reformar el Decreto 1375 de 2013 del MADS por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres con fines de investigación científica no comercial, y el Decreto 1376 de 2013 por el cual se reglamentan las investigaciones científicas básicas en el marco de un permiso de recolección de especímenes con fines no comerciales.
- Racionalizar los requisitos para importar materiales y equipos de laboratorio.
- Abrir la importación de insumos controlados para proyectos de investigación y desarrollo.
- Establecer mecanismos efectivos para incentivar asociaciones público-privadas. La participación en grandes proyectos internacionales y nacionales publico-privados no puede seguir las mismas reglas aplicadas a proyectos de infraestructura.
- Conformar la carrera de investigador para instituciones públicas de CTeI.

Propuestas sobre educación adicionales y complementarias a la Misión de Educación

Estas propuestas están a su vez agrupadas en cinco categorías.

Cómo mejorar la calidad de los maestros

- Fortalecer los programas de mejoramiento continuo para maestros.
- Establecer un sistema de evaluación a los maestros que conduzca a su promoción laboral pero también a planes de mejoramiento.
- Promover la creación de facultades de educación en las universidades acreditadas.
- Crear un programa de becas para estudiantes con alta calificación en la prueba Saber 11 que deseen estudiar para ser profesores.
- Promover en las facultades de ciencias un periodo de preparación pedagógica para quienes lo escojan como opción de grado, y que se reconozca formalmente a los egresados de esa opción su capacitación como docentes.
- Ofrecer ese mismo programa a egresados interesados de programas STEM y programas de humanidades y artes.

Cómo generar impactos mutuos de la educación y la investigación

- Diseñar programas que incentiven el estudio de las carreras científicas en pregrado.
- Construir programas nacionales de apoyo a los doctorados.
- Establecer un proyecto que promueva la difusión de trabajos científicos que se hayan desarrollado con financiamiento estatal.

- Promover la participación de los estudiantes de pregrado en proyectos de investigación.
- Procurar un sistema nacional para financiar el acceso a bases de datos y bibliográficas.
- Aprobar un programa de excelencia para fomentar la investigación científica en algunos campos que el país considere cruciales y en los cuales tenemos poca capacidad.
- Establecer entornos donde la innovación, la investigación y la creación se conviertan en una patente.

Medidas para generar impacto en la calidad de la investigación

- Crear un programa de formación científica para jóvenes, con un gran componente internacional de becas que inicie con la formación doctoral, continúe con la experiencia posdoctoral y apoye un periodo de retorno al país mediante becas destinadas al desarrollo de un proyecto de investigación.
- Construir instrumentos administrativos que armonicen las iniciativas de los ministerios de Educación Nacional y de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Construir redes de educadores y de instituciones educativas.
- Crear una instancia dentro del sistema educativo para la conciliación de los currículos de ciencia en los niveles de preescolar, básico, medio, secundario y superior.
- Apoyar la generación de textos modernos y materiales de enseñanza de las ciencias.
- Ofrecer vías alternativas para educación en ciencias. Es necesario crear líneas de profundización para quien se dedique a una carrera científica o técnica, pero también debe ofrecerse un contenido básico de ciencia para quienes no escojan una carrera en estas disciplinas.

- Se hace necesaria una normatividad ágil para validación de títulos y establecimiento de equivalencias internacionales.

Medidas para promover la equidad en el acceso a la educación

- Hay grandes problemas de disparidad regional en educación en general, pero mucho más grave en matemáticas, ciencias naturales, manejo de una segunda lengua, sistemas y nuevas tecnologías. Es necesario hacer explícito el problema y situarlo como prioridad máxima para el sistema educativo.
- Discutir en la sociedad y en el Gobierno la posibilidad de establecer algunas acciones afirmativas de acceso a la educación que compensen inequidades étnicas, de género y regionales.
- Robustecer la educación pública. Es indispensable crear nuevas instituciones de educación públicas y aumentar la inversión estatal.
- Fortalecer el sistema de acompañamiento a los estudiantes.
- Aplicar nuevas metodologías didácticas para mejorar la calidad y la equidad, sobre todo llevándolas a los entornos rurales y rurales dispersos.

Medidas para promover el impacto de la educación en ciencias en la sociedad en general

- Los centros e institutos de investigación, los existentes y los que se creen en el futuro, deben acreditarse para realizar tesis de doctorado y maestría, en asocio con universidades. Eso fomentará la transdisciplinariedad, que es una necesidad moderna.
- Crear programas de apoyo financiero continuo para los centros autónomos de excelencia.
- Promover la relación entre empresa, Universidad y Estado, tanto con programas de apoyo económico directo como aumentando

las pasantías de estudiantes en las empresas. Para construir una cultura de invención e innovación son indispensables los capitales de riesgo.

- Desarrollar programas de educación general para el público, como cátedras de ciencia y de estadística para las facultades de periodismo y comunicación social.
- Promover y apoyar con recursos nacionales y de regalías la construcción de planetarios y museos en regiones del país que no los tienen.
- Como medida de gran impacto social, es necesario buscar la forma de imprimir una dimensión ética a la educación. Esto se podrá hacer no solo a través de los currículos en todos los niveles educativos (desde la primera infancia) sino también mediante la organización de seminarios itinerantes financiados por el MEN, y el apoyo a las publicaciones científicas, filosóficas, literarias y creaciones artísticas.

Misiones emblemáticas y conclusiones finales

Uno de los mecanismos más efectivos para llevar a cabo las propuestas generales de la Misión Internacional de Sabios es el desarrollo de las misiones emblemáticas. Por eso incluimos la introducción al capitulo de las misiones, sección que ya ha sido expuesta en el documento central de la colección Misión Internacional de Sabios 2019. Finalmente, presentaremos las conclusiones generales del texto.

Introducción al capítulo sobre misiones[24]

En un mundo y una época de grandes retos para la razón y el conocimiento, muchos países se han inclinado por movilizar buena parte de sus esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico orientándolos en el marco de grandes misiones emblemáticas. El ejemplo clásico fue la decisión de los Estados Unidos de poner un hombre en la Luna en un plazo que entonces parecía improbable. La decisión movilizó al Gobierno, a las empresas y a la academia en un esfuerzo coordinado y altamente motivado, que no solo logró el objetivo, sino que le dio un impulso general a toda la ciencia y la tecnología de esa nación, generando verdaderas revoluciones en electrónica, computación, ciencias de materiales, comunicaciones y muchas otras áreas que antes parecían inconexas.

La Misión Internacional de Sabios 2019 propone al país enfrentar tres grandes retos, con la estrategia de misiones, que se describen en detalle en este documento.

El primer reto es llamado Colombia Biodiversa, que propone identificar, conocer, documentar y aprovechar la diversidad cultural y natural del país para impulsar la bioeconomía y la economía creativa, generando conciencia en los colombianos del valor de su patrimonio e inspirándolos a protegerlo y preservarlo. Sus resultados permitirán al país dejar de depender de la explotación de recursos no renovables y productos agrícolas primarios para dar un giro hacia una economía basada en el conocimiento, la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad con gran valor agregado y con la generación de nuevos productos.

24 Algunas partes de esta sección han sido expuestas en *Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas (volumen 1),* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación,2020). Este documento es resultado del trabajo de tres focos de la Misión de Sabios.

El segundo reto es Colombia Productiva y Sostenible, que busca modificar la estructura productiva del país para orientarla hacia industrias y servicios con contenido tecnológico alto, empresas de economía circular con máximo aprovechamiento de residuos, con sostenibilidad ambiental que aproveche el potencial de las energías renovables.

El tercer gran reto es Colombia Equitativa que busca garantizar una distribución equitativa de los frutos del esfuerzo nacional, garantizando el acceso a educación, salud, servicios básicos y empleo digno.

Estas iniciativas son inter- y transdisciplinarias, contemplan desarrollos científicos fundamentales y aplicados, su horizonte es de largo plazo pero se definen etapas y metas específicas a diferentes plazos y con monitoreo permanente. Son ideas audaces e inspiradoras con una dirección clara que apunta al corazón de grandes problemas nacionales. Son ambiciosas pero realizables: ofrecen múltiples soluciones a los problemas y proponen una construcción con gran participación de las poblaciones interesadas.

Están previstos algunos mecanismos de gobierno de carácter general, en su mayoría dependiendo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, pero es importante definir las instancias encargadas de articulación entre el nivel de las políticas y el de la ejecución. En este mismo capítulo se presenta un listado "control de mando" que sugiere para cada actividad qué ministerios deben participar, los responsables, los términos de ejecución, y los indicadores de cumplimiento. Asimismo se definen algunas condiciones previas, necesarias para el éxito de los diferentes emprendimientos.

Los tres retos son iniciativas interdependientes, que se traslapan en muchas de sus acciones y se realimentan mutuamente. Requieren del concurso de varios ministerios, de universidades, centros, institutos, empresas y organizaciones sociales diversas. La figura 11 muestra esquemática y claramente la interrelación que definirá en gran medida sus posibilidades de éxito.

Es necesario definir estrategias de financiación adecuadas. Las misiones deben ser vistas como un esfuerzo adicional, que no debe desplazar al que se ha definido, para promover la actividad científica general del país. La estrategia debe contar con inversiones y componentes de corto, mediano y largo plazo.

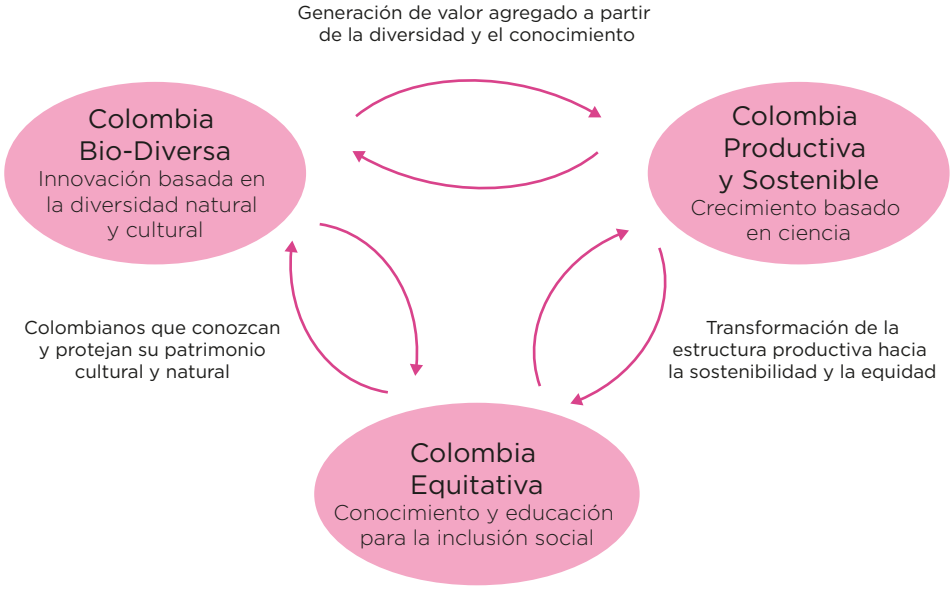


Figura 11. Relaciones entre los tres grandes retos propuestos por la Misión Internacional de Sabios 2019.

Es importante en el corto plazo que las convocatorias de regalías y las prioridades regionales se ajusten a los retos y las misiones propuestas. Pero eso no basta para asegurar suficientes recursos. En el mediano plazo debe contemplarse un 25 % de recursos adicionales de las regalías, lo que requiere una reforma constitucional. Parte de los recursos serían destinados también, de acuerdo con la priorización regional, a la educación, con atención integral para los menores de 5 años, y para consolidar y construir nuevos centros e institutos de innovación e investigación regionales que intermedien entre los generadores del conocimiento y las empresas que lo utilizan. Es necesario también explorar la posibilidad de solicitar créditos multilaterales como los que en el pasado han producido impactos muy positivos en el crecimiento de la actividad científica, en nuestro país y en otros de nuestra región. Sin duda la participación privada también aumentará, en forma creciente, impulsada por la inversión estatal y por el éxito de los nuevos emprendimientos.

Conclusiones finales[25]

Moisés Wasserman Lerner[26]

La Misión Internacional de Sabios 2019 fue convocada por el presidente de la República Iván Duque Márquez en seguimiento a una conversación con la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales poco después de ser elegido. Le asignó la tarea de su organización a la vicepresidenta Marta Lucía Ramírez, señalando con eso el altísimo nivel de prioridad que le concedía.

Focos temáticos

Se incorporaron a la misión 47 expertos, colombianos y extranjeros. Se organizaron en ocho focos temáticos:

- Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente
- Ciencias Básicas y del Espacio
- Ciencias Sociales y Desarrollo Humano con Equidad
- Ciencias de la Vida y la Salud
- Energía Sostenible
- Industrias Creativas y Culturales
- Océanos y Recursos Hidrobiológicos
- Tecnologías Convergentes (nano-, info-, cogno-) e Industrias 4.0

25 Parte de las propuestas presentadas en esta sección han sido expuestas en *Colombia hacia una sociedad de conocimiento: reflexiones y propuestas (volumen 1)* (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020).

26 Doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

Esa composición altamente incluyente reconoce el papel de la investigación fundamental, "basada en la curiosidad", que está en la base de prácticamente todos los desarrollos modernos. Reconoce también la importancia de la investigación social para una sociedad que padece conflictos y grandes inequidades. Manifiesta su preocupación por el territorio, los mares y la diversidad biológica, e integra todo eso con consideraciones importantes de desarrollo industrial moderno, de energías alternativas y de tecnologías biológicas que lleven a una bioeconomía renovadora. Considera prioritariamente el acervo cultural propio y entiende su importancia para el bienestar de la gente y su potencial suigéneris en el desarrollo. El cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible -metas e indicadores con los cuales el país se comprometió junto con otras 192 naciones del mundo- está presente en todas las preocupaciones y todas las propuestas.

La composición y estructura de la misión aseguraba que serían considerados los más importantes retos que afronta el país con su alta heterogeneidad cultural, en un esfuerzo por hacer de la ciencia, la educación y la cultura los ejes fundamentales del futuro desarrollo del país, así como por integrarse en la muy competitiva sociedad global del conocimiento. Pero, además de todo eso, es una composición que representa a una comunidad científica variada y heterogénea, y a un sistema (aún no formalmente constituido) que es abierto y que tiene como actores a investigadores, grupos, universidades, centros, institutos, organismos de gobierno, empresas, niños y escuelas y cualquier otra organización que tenga entre sus objetivos a la investigación científica, su fomento, su uso o su difusión.

A pesar de no ser extraordinariamente grande, la comunidad científica colombiana es importante y se ha consolidado durante los últimos tres decenios. Ha habido dos leyes de ciencia y tecnología, Colciencias ha cambiado de posición en la estructura del Estado, siempre ascendiendo en importancia, hasta llegar a ser en este momento un ministerio. Varias universidades han asumido la investigación como un eje misional central, hay institutos y centros que tienen como papel principal la investigación científica y hay numerosos ejemplos de éxitos científicos, y de empresas conjuntas entre los actores del sistema. Esa comunidad participó en las deliberaciones de la misión a través de encuestas y múltiples foros y

encuentros regionales y nacionales. Participaron en las consultas también otros actores de la sociedad civil. Sus problemas y sus visiones de futuro han sido recogidos mayoritariamente en las propuestas que la misión le hace al Gobierno y a la sociedad.

Estas propuestas que hace la Misión constituyen fundamentalmente una hoja de ruta que le sirva al país para dar un salto cualitativo en su estrategia de desarrollo humano, económico, social y cultural. Es una estrategia que concibe a la educación, la ciencia, la tecnología, la innovación y la creación como ejes generadores de bienestar para toda la sociedad, no para grupos o sectores particulares, y que compromete a diversos sectores en un empeño común.

En la hoja de ruta hay tres tipos de propuestas diferentes, las tres igualmente importantes y relevantes. Una es darle impulso a buena parte de la investigación a través de misiones emblemáticas (según la definición que de ellas hace la economista Mariana Mazzucato, 2018). El enfoque de investigación orientado por misiones ha sido adoptado por muchos países en el mundo. Se inspira en el gran proyecto americano que decidió poner un hombre en la Luna en un tiempo que parecía en aquel entonces irrealmente breve. Es el enfoque que está tras la creación del internet y los revolucionarios desarrollos en áreas como la biotecnología, la nanotecnología, y la tecnología de energías verdes. La estrategia de misiones se enfoca en retos sociales específicos que pueden ser resueltos con la interacción de múltiples disciplinas y sectores. En esas misiones participan las matemáticas y las ciencias básicas y naturales que resuelven impedimentos fundamentales, las ciencias sociales que hacen posible la incorporación de los resultados a la vida de la gente, las ingenierías, el diseño, las empresas y las finanzas. En el enfoque de misión se reclutan recursos públicos y recursos privados en la forma más eficiente posible. En el marco de las misiones se ha hecho posible construir instituciones que aprenden y que manejan la incertidumbre y el riesgo, y se pueden desarrollar mecanismos en que los sectores público y privado compartan en forma justa los riesgos y las recompensas.

La propuesta de misiones está dirigida a una concentración de esfuerzos adicionales en los propósitos descritos, no pretende de ninguna forma

reemplazar los esfuerzos permanentes y necesarios en ciencias básicas y aplicadas de calidad ni en aquellos en ciencias sociales, en humanidades y en artes. Estas deberán ser continuamente promovidas. Los presupuestos para las misiones serán adicionales a aquellos que se destinen a las normales actividades e iniciativas del sistema. En cada una de las misiones propuestas participan varios de los focos, todos están inscritos en varias.

Retos y misiones

Se decidió en conjunto que estas misiones están apuntando a resolver tres retos: 1) Colombia Productiva y Sostenible, 2) Colombia Biodiversa y 3) Colombia Equitativa.

En el marco de esos tres retos se definen cinco misiones:

- Generar un nuevo modelo productivo y sostenible.
- Conocer a fondo y promover la utilización de la mega diversidad biológica (terrestre y marina) y la cultural.
- Afrontar el cambio climático y el manejo del agua, para mejorar con ciencia la educación a todos los niveles.
- Aumentar la equidad produciendo conocimientos que eliminen las barreras del desarrollo humano.

Políticas

Otro tipo de propuestas es el de algunas políticas que podrán tener un impacto importante en el desarrollo de la ciencia y la cultura del país. Entre estas son de resaltar:

Apoyo y desarrollo de centros e institutos de investigación

Partiendo de un análisis de la situación existente y los problemas que enfrentan las diversas modalidades institucionales, se proponen estrategias diferenciadas que les permitan funcionar en forma correcta. También hay propuestas para crear nuevos centros regionales que actúen como interfase entre la investigación y la empresa, y hay una propuesta para

generar una integración productiva entre diversos institutos públicos de ciencia y tecnología.

Políticas adicionales para educación

Además de la misión, que se circunscribe a unas acciones prioritarias y medibles, se proponen otras estrategias de carácter más general que podrán impactar muy positivamente al sector educativo en todos los niveles y a largo término, formando a la población no solo para el mercado laboral sino también para la satisfacción de la curiosidad científica, la creación artística, la cooperación social, la interacción no violenta, el ejercicio de la democracia y para que ejerza más ampliamente la libertad de escoger un camino en su vida.

Gobierno de la ciencia

La misión propone políticas que permitan una administración más eficiente de la ciencia. Hizo recomendaciones para la estructuración del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (CTeI) y para el Sistema de CTeI. Analizó normas existentes (incluidas las actuales para el sistema general de regalías) y recomendó considerar otras más ágiles y apropiadas en forma específica para la actividad investigativa. También se propuso una para promover la internacionalización de la ciencia y una movilidad adecuada que nos comunique con los grandes centros de desarrollo tecnológico del mundo.

Financiación de la ciencia

Finalmente, y como factor de la mayor importancia, se propone revisar cuidadosamente el sistema de financiamiento de toda esta actividad. Para lograr una mayor participación del sector privado será necesario también aumentar sustancialmente la inversión estatal. La Misión de Sabios propone algunos modelos que pueden ayudar al Gobierno a detectar fuentes de recursos adicionales y a optimizar combinaciones de ellas de acuerdo con el carácter de cada proyecto. Una solución adecuada al problema crónico de la baja financiación de la ciencia servirá para resolver el problema de la poca transferencia de resultados del laboratorio a la industria, además de dar gran impulso a la actividad científica.

Esta hoja de ruta concluye con un llamado de urgencia y en altavoz al Gobierno, a las universidades, a las diversas instituciones de ciencia, tecnología e investigación, a los empresarios y a la sociedad en general. La capacidad de crecimiento económico y de resolución de problemas sociales depende en gran medida de nuestras acciones hoy. Hay una gran brecha entre nuestro país y los más desarrollados, solo alcanzaremos los niveles de bienestar que ellos gozan si logramos cerrarla. Postergar las soluciones, como ha sucedido en el pasado, nos alejará de este objetivo, tal vez en forma irreversible. El llamado es de urgencia y de coordinación de acciones. Invitamos a remar todos con fuerza y en la misma dirección.

epít

Ciencias básicas y soberanía tecnológica en tiempos de COVID-19*

Moisés Wasserman Lerner

* Esta sección ha sido incluida en el volumen 2
de la colección Misión Internacional de Sabios 2019.

Ojalá que la pandemia COVID-19 nos deje lecciones. La globalización, con todo su enorme potencial para mejorar el desarrollo de los pueblos y generar equidad, hizo evidentes en esta crisis algunas de sus imperfecciones y problemas. El primero es que las epidemias que en el pasado se difundieron muy lentamente -algunas fueron transportadas en caravanas, durante años por la ruta de la seda de China a Europa-, hoy vuelan en jet y se difunden con una velocidad que hace muy difícil controlar su expansión. La reacción fue el cierre de fronteras y la suspensión de intercomunicación entre los países. Aunque el aislamiento se matizó y se hizo más soportable gracias a las tecnologías de comunicación y el internet, hubo un retroceso ético generalizado en el tratamiento a inmigrantes y extranjeros, que han sido vistos y tratados como una amenaza.

Otro efecto negativo fue que la gran demanda de insumos médicos relacionados con la pandemia generó una alta competencia entre los países para adquirirlos. Las pruebas diagnósticas de reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR), los respiradores mecánicos para cuidados intensivos y hasta los tapabocas de alta especificación técnica se volvieron bienes escasos. Muchos países del "primer mundo" que los producen, incluso algunos que se han distinguido en años recientes por su colaboración con países en desarrollo, embargaron y prohibieron sus ventas al exterior para asegurar, ante todo, el suministro a sus propios servicios de salud. La pandemia produjo una reacción generalizada de "sálvese quien pueda".

En estas condiciones a los países en desarrollo nos va especialmente mal. Se hace evidente nuestra carencia de soberanía tecnológica, de incapacidad para responder con autosuficiencia a un reto de salud pública como este. No es casualidad que los países con mayor capacidad para responder a esos retos son también los que más han desarrollado sus ciencias básicas y que tienen una industria que se alimenta de ellas. Nadie podía haber predicho de antemano qué se iba a necesitar, pero la ciencia básica es precisamente la que otorga a las sociedades ese potencial para responder a los retos imprevisibles.

La primera mala noticia fue la escasez de pruebas diagnósticas moleculares (RT-PCR), que no es una prueba especialmente compleja ni requiere desarrollos con patente o secreto industrial. Es una amplificación exponencial del ARN del virus (de secuencia conocida y de dominio público), que usa primero una enzima capaz de sintetizar una cadena de ADN a partir del ARN y luego otra que -con ciclos a temperaturas diferentes (en un aparato termociclador) y unos "cebadores" (pequeñas moléculas con secuencia complementaria al ADN)- producen el ADN en una cantidad que es más fácilmente detectable. Cualquier laboratorio de biología molecular con cierta sofisticación podría producir todos los componentes y armar la prueba. Pero nuestros laboratorios centrales de diagnóstico dependen de un kit comercial, aun peor, de un kit de diseño cerrado, es decir uno que solo puede ser utilizado con un aparato, producido por la misma compañía que vende los kits. Resultó que esa compañía estaba en uno de los países que embargaron sus exportaciones, por lo cual la falta de soberanía tecnológica se hizo evidente: quedamos dependiendo de algo que, en el fondo, ni siquiera puede estar protegido por patentes.

Con gran esfuerzo se consiguieron kits y entonces sucedió otro impase. El paso previo a la amplificación es la extracción del ARN y eso depende de otro kit que se usa en un aparato robotizado, para mayor rapidez. El aparato se dañó y tuvimos, por unos días, una lentificación grave del diagnóstico mientras que los representantes de la firma responsable lograron arreglar el robot. No hay ninguna razón para que un buen equipo humano de físicos e ingenieros con conocimientos de robótica no pueda producir en el futuro, localmente, un equipo de esas características.

La necesidad de ampliar el número de muestras que podían analizarse diariamente en el Instituto Nacional de Salud (INS) llevó a activar una red. Algunos laboratorios departamentales, generalmente con profesional menos especializado, fueron entrenados para ejecutar las pruebas (usando el kit), pero, más allá de eso, muchos grupos de investigación universitarios se unieron al esfuerzo, algunos con reactivos propios sin depender de los kits comerciales. Otros participaron con proyectos diferentes para un diagnóstico de tipo más epidemiológico que clínico. Eso muestra que el potencial existía de antemano, infortunadamente no hemos podido generar las empresas que usen ese potencial para darnos la autonomía necesaria.

Un segundo problema fue la escasez de respiradores mecánicos para las unidades de cuidados intensivos (UCI). El Gobierno nacional y algunos Gobiernos departamentales y locales salieron a conseguirlos, pero no fue fácil. Las medidas de confinamiento y cuarentena tenían como objetivo principal ganar tiempo mientras se ampliaba la capacidad hospitalaria para los cuidados intensivos. El colapso de ese sistema hubiera podido multiplicar las víctimas. Pero también los respiradores estaban embargados en el mundo. Los planes iniciales pretendían multiplicar por diez o más el número de camas en las UCI, pero apenas se logró conseguir unos 2000 respiradores, pero solo en entregas parciales a lo largo de más de tres meses.

No hay razón para que nuestros científicos e ingenieros no puedan diseñar y producir respiradores funcionales. Efectivamente, surgieron 21 proyectos distintos. Algunos se aliaron con industriales y hospitales. La producción se ha retrasado porque no han conseguido licencias de la autoridad sanitaria nacional (Invima). Si bien es cierto que es necesario llenar requisitos muy estrictos para un aparato que, como este, puede poner vidas en peligro si falla, también es cierto que tenemos procedimientos lentos y engorrosos que se derivan de la desconfianza hacia nuestra propia capacidad científica. En la mayoría de los casos la innovación es un proceso gradual sobre algo ya existente. Acá había el potencial científico básico para generar diseños y construir prototipos, pero nos faltó la confianza social necesaria para convertirlos rápidamente en una realidad industrial.

En el futuro cercano podemos enfrentar otros momentos críticos en la pandemia, que serían menos graves si tuviéramos la capacidad de

unir la ciencia básica con la industria farmacéutica en forma productiva. Seguramente saldrá una vacuna, pero no seremos los primeros en recibirla porque será distribuida a miles de millones de personas en el mundo. Aunque la vacuna no sea patentada y se constituya en bien público (no es imposible, ya sucedió con otras como la de influenza) nosotros no podremos producirla y tendremos que esperar hasta que nos llegue y depender de las buenas relaciones de nuestros gobernantes con los de otras naciones.

Lo más doloroso es que aun si recibiéramos licencia de producción de la futura vacuna no podríamos usarla porque no tenemos las instalaciones adecuadas para producirla. Hay que recordar un par de hechos. La viruela fue erradicada de Colombia con una vacuna fabricada en el país. Desde principios hasta mediados del siglo XX existió el Parque Nacional de Vacunación que la producía y administraba, y que posteriormente se unió al INS. Los brotes de la terrorífica fiebre amarilla en el siglo XX fueron controlados con una vacuna fabricada en el Instituto Finlay en Bogotá, y luego en el INS. No solo controlamos nuestros brotes, sino que exportamos la vacuna a Ecuador y a Perú.

En su rendición de cuentas de 1997, el INS reportó la entrega al Plan Ampliado de Inmunización de 6 500 000 dosis de vacuna BCG (contra la tuberculosis); 5 797 500 dosis de vacuna DPT (contra difteria, tosferina y tétano); 10 993 000 dosis de vacuna contra el tétano y 2 465 320 dosis de vacuna contra fiebre amarilla, todas hechas en el país. ¿Era posible en 1997 y es imposible hoy? ¿Qué pasó? Hay muchas razones para justificar o explicar por qué algo no se hace o se dejó de hacer. Pero una razón importante es la falta de confianza en nuestras propias capacidades científicas. En ese momento se debió haber dado un paso adelante, arriesgado, haciendo una inversión considerable; no se hizo a pesar de que nos hubiera dado un grado mayor de autonomía sanitaria. En cambio se acabó la producción, las instalaciones fueron reestructuradas para otros usos, y se confió en que siempre podríamos comprar nuestras vacunas en el exterior. La situación que atravesamos ahora debería hacernos cambiar algo de esa mentalidad.

La soberanía tecnológica para la fabricación de fármacos también será necesaria y por la misma razón. Algunos países como la India lo han logrado, convirtiéndose en grandes productores que cambiaron,

por ejemplo, la epidemiología del VIH en África, con su producción genérica más barata. Nosotros debemos tener las capacidades para producir fármacos novedosos, usando todo el potencial de nuestra biodiversidad, apoyado por una química sofisticada y de frontera.

Todas las epidemias en la historia generaron grandes hambrunas. Esperamos que esta vez no suceda, aunque si se prolonga mucho podemos tener el peligro de que parte de la población no tenga acceso a productos básicos de la canasta. Una producción de alimentos eficiente, sin uso excesivo de agua, de fertilizantes sintéticos y de plaguicidas, depende hoy, y dependerá cada día más, de una agricultura biotecnológica basada en conocimiento de ciencia básica. La limitación de la expansión de la frontera agrícola para defender los ecosistemas naturales también dependerá, a la larga, de desarrollos biotecnológicos estrechamente relacionados con los conocimientos de ciencia básica.

Acá apenas se hace referencia a hechos ligados a los problemas de salud y alimentación que la pandemia nos revela. Pero en la época de pospandemia hay otros campos en los cuales tenemos que buscar cómo aumentar nuestra autonomía. Todos dependerán en gran medida de nuestra capacidad para generar y captar conocimientos básicos. Viviremos una transición energética hacia el uso, cada vez mayor, de energías renovables y más limpias. Esto es impensable sin el aporte de físicos de estado sólido y físicos nucleares, geólogos, meteorólogos, químicos, biólogos, biotecnólogos y agrónomos; el manejo de nuestros territorios y las comunicaciones requerirá de los científicos del espacio; el manejo y aprovechamiento de los mares será imposible sin oceanógrafos, geólogos y biólogos marinos; la protección del medio ambiente, cada vez es más claro, no puede hacerse sino con intervenciones efectivas y con alto contenido científico.

Este no es un discurso propagandístico sino un recuento muy breve de hechos reales, algunos pocos ejemplos, entre muchos posibles, que la pandemia nos recuerda. La ciencia básica, aprovechada con empresas de muy alto nivel tecnológico, nos puede dar la soberanía nacional que es tan evidentemente necesaria, y cuya ausencia nos parece tan lamentable. Esta es la mejor lección que podemos aprender de la pandemia.

Anexos

1. Análisis estadístico de la encuesta a la comunidad académica de las ciencias básicas y del espacio para la formulación de necesidades a la Misión de Sabios 2019 en Colombia

Liz Stefani Polanía Giraldo[27]
Leonardo Trujillo Oyola[27]
Jairo Alexis Rodríguez Lópe[28]
Diego Alejandro Torres Galindo[28]

El Gobierno colombiano convocó la Misión Internacional de Sabios a comienzos de 2019, la cual fue integrada por un grupo de 46 expertos nacionales e internacionales cuyo principal objetivo fue aportar a la construcción e implementación de una política pública en ciencia, educación, innovación y tecnología. Uno de los grupos temáticos fue el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, el cual implementó varias metodologías de identificación de problemas de la comunidad científica del país.

Este anexo presenta el análisis de una encuesta realizada a un grupo de 574 personas registradas en el sistema de Currículum Vitae de Latinoamérica y el Caribe (CVLAC), el cual da acceso a una base de datos de investigadores

27 Departamento de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia.

28 Doctor en Física de la Universidad Nacional de Colombia, decano de la Facultad de Ciencias de la misma institución; doctor en Física Nuclear de la Universidad Nacional de Colombia, profesor del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia. Miembros de la Secretaría Técnica del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019.

que tienen o han tenido relación con Colciencia[29]. El análisis tiene como objetivo caracterizar a los individuos que respondieron la encuesta con base en preguntas demográficas y abiertas, para generar estrategias que permitan aprovechar el potencial científico, artístico, tecnológico e intelectual del país. La metodología de análisis empleada es la estadística textual basada en análisis de correspondencias múltiples (ACM), donde se clasifica a los individuos en grupos de acuerdo con las palabras más frecuentes usadas en cada una de sus respuestas a las preguntas. Como ejemplo de las tipificaciones encontradas, la mayoría de los científicos nacionales en la región Amazónica solicitan un mayor apoyo en su movilidad o que las personas de mayor edad con categoría investigadores eméritos de Colciencias hablan de la política como un limitante de cualquier desarrollo.

Ahora bien, este anexo está organizado de la siguiente manera: la primera sección presenta las generalidades de la encuesta y sus preguntas; la segunda sección resume los métodos estadísticos utilizados para el análisis; la tercera sección presenta los resultados y la cuarta sección las conclusiones.

Descripción y depuración de los datos

La encuesta recopiló la información de 574 personas registradas en el sistema CVLAC de Colciencias, del total de 2467 científicos clasificados en el país en el área de ciencias básicas y del espacio. Se consideraron en el cuestionario las siete (7) variables categóricas de información demográfica enunciadas en la tabla 6, más siete (7) preguntas abiertas adicionales (tabla 7). Las preguntas fueron elaboradas con base en el cuestionario presentado por el grupo de trabajo del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, y sometidas a un proceso de valoración posterior por el equipo del Departamento de Estadística de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

Para el análisis de las preguntas abiertas (Lebart, Pincemin & Poudat, 2019) se generaron 7 matrices documento con 574 filas correspondientes

29 La entidad Colciencias desapareció del organigrama del Estado colombiano, y gran parte de sus funciones fueron retomadas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

a los individuos encuestados y columnas que representan los términos o palabras más frecuentes usadas por cada uno de ellos. Un paso previo al análisis corresponde al proceso de depuración de estos documentos donde se migran los términos o palabras limpios por frecuencias, conectores lógicos o de negación y sin símbolos de puntuación. Finalmente, a cada una de estas matrices se anexa la información demográfica de cada documento (tabla 8).

Tabla 6. Descripción de las variables demográficas analizadas en la encuesta.

Variable	Descripción	Etiqueta
Sexo	Género del individuo	Sexo
Rango de edad	Categoría de la edad del individuo	Edad
Área de desempeño	Ciencia que ejerce el encuestado	Área
Colciencias	Categoría del investigador en Colciencias	Col.
Departamento	Departamento de Colombia al que pertenece el encuestado	Dep.
Región	Región a la que pertenece el departamento del encuestado	Reg.
Nivel académico	Máximo grado académico obtenido por el encuestado	Nac.

Tabla 7. Descripción de las preguntas analizadas en este documento.

Fuente de la variable	Descripción	Etiqueta
Pregunta 1	Mencione al menos tres factores que limiten su capacidad para desarrollar investigación en el área de ciencias básicas y del espacio.	p1
Pregunta 2	Mencione los retos más importantes hacia el futuro de su campo disciplinar en Colombia	p2
Pregunta 3	En su opinión ¿qué políticas deberían implementarse en Colombia para desarrollar su campo de investigación?	p3
Pregunta 4	¿Cómo las ciencias básicas y del espacio se pueden integrar al desarrollo nacional?	p4
Pregunta 5	¿Qué espera como resultado de esta misión?	p5
Pregunta 6	¿Qué espera que cambie en el país en materia de ciencia, tecnología e innovación?	p6
Pregunta 7	Mencione tres estrategias que, en su opinión, podrían reforzarse o implementarse para establecer una colaboración científica sostenible con pares científicos en el extranjero.	p7

Categoría	Variable	Categoría	Variable
Sexo	Femenino	Colciencias	*Junior*
	Masculino		*Senior*
Edad	25-34		Emérito
	35-44	Región	Andina
	45-54		Caribe
	55-64		Pacífica
	65 o más		Orinoquía
Área de desempeño	Ciencias médicas y de salud		Amazónica
	Ciencias naturales		Exterior
	Ingeniería y tecnología	Nivel académico	Pregrado
	Ciencias sociales, agrícolas y otras		Maestría
	Humanidades		Doctorado

Tabla 8. Categorías establecidas para las variables demográficas.

Métodos estadísticos

La minería de textos reúne un campo de aproximaciones teóricas y métodos con un punto en particular: textos como información de entrada, es decir, documentos o textos como datos. La minería de textos es, entonces, una extensión de la minería de datos hacia datos más complejos como *el análisis de textos online con el fin de obtener conclusiones acerca de fenómenos* (Hearst, 1999). En general, la minería de textos es un campo interdisciplinario entre estadística, lingüística y ciencias de la computación.

Algunas aplicaciones clásicas en minería de textos (Weiss, Indurkhya, Zhang & Damerau, 2004) incluyen el agrupamiento (Boley, 1998; Boley *et al.*, 1999; Zhao, Karypis & Fayyad, 2005) y la clasificación de documentos (Sebastiani, 2002). Para ambos la idea es transformar el texto en un formato estructurado de acuerdo con las frecuencias de las palabras o términos y, subsecuentemente, aplicar técnicas estándar de minería de datos (Zhao, 2013).

Hoy casi todos los paquetes estadísticos cuentan con herramientas de minería de texto (Davi *et al*., 2005), que incluyen código para las tareas de preprocesamiento (preparación de los datos, importación y limpieza de la base de datos); análisis de asociación (encontrar asociaciones para una palabra en particular basado en frecuencias de coocurrencia); clasificación (agrupación de documentos similares) y resumen (conceptos importantes en el texto, regularmente corresponden a palabras o términos con frecuencias altas) (véase Feinerer, Hornik & Meyer, 2008). Entre los *softwares* comerciales para minería de datos se encuentran SPSS Clementine y SAS Text Miner, entre muchos otros; y en software libre: GATE, RapidMiner, WEKA/KEA y en R, las librerías FactoClass (Pardo, Campo & Torres, 2018), tm (Feinerer, 2007), ttda (Mueller, 2006) y wordcloud (Fellows, 2018).

Un tipo especial de datos textuales son las preguntas abiertas que pueden ser encontradas en cuestionarios de muchos tipos de encuesta en áreas como epidemiología, mercadeo, socioeconómica, etc. Este tipo de preguntas constituyen una parte esencial cuando el fin de la investigación va más allá de obtener simples tabulaciones y, en particular, cuando se enfrentan tópicos no muy estudiados (Lebart, Salem & Berry, 1998). En este caso, la misma pregunta se aplica a cientos de respondientes obteniendo partes de texto aparentemente redundantes. Algunas situaciones en las que se recomienda usar preguntas abiertas son, por ejemplo, para reducir los tiempos de encuesta si se tiene un listado muy amplio de categorías; para obtener información espontanea; cuando se desconocen los tipos de respuesta que serán obtenidos y para preguntas de seguimiento a una pregunta cerrada como "¿Por qué?".

Un primer tipo de análisis de datos textuales es una nube de palabras (*wordcloud*) o nube de etiquetas (*tagcloud*), que es una representación visual típicamente usada en páginas web en la que la importancia de cada palabra en el texto es representada de acuerdo con su tamaño de letra y su color (Zhao, 2013, capitulo 10; Fellows, 2018). Alternativamente, existen las nubes de datos (*datacloud*) que usan tamaños de letra y colores que permiten visualizar valores numéricos (como la población de una región o precios de bienes o servicios). El tamaño de la letra de una palabra se determina en principio por su incidencia. De esta manera, si el tamaño

de letra esta entre 1 y *f*, se normaliza el tamaño de letra *si* para la i-ésima palabra en el texto mediante la fórmula

$$S_i = \frac{f(t_i - t_{min})}{t_{max} - t_{min}} \quad (1)$$

donde *si* representa el tamaño de letra, *f* el máximo tramando de letra, *ti* frecuencia de la palabra, t_{min} y t_{max} el mínimo y el máximo de las frecuencias respectivamente. Para frecuencias muy grandes puede ser necesario algún tipo de representación logarítmica y, previamente, un filtro del corpus del texto que elimine palabras muy frecuentes que no aportan al análisis (conectores, preposiciones, artículos), así como números y signos de puntuación.

Otro tipo de análisis consiste en considerar los datos textuales como tabulaciones cruzadas o tablas de contingencia. El valor analizado en cada celda de la tabla es la frecuencia de una unidad de texto: palabra, unión de palabras, frase. Las filas de la tabla son, por ejemplo, palabras cuya frecuencia es mayor a un umbral y las columnas son autores o documentos. Una vez diseñada esta tabla, se pueden considerar distancias entre individuos (en filas) obtenidas a través de las columnas y distancias entre columnas (autores o variables) obtenidas a través de las filas. Estas tablas de distancias son la fuente para hacer visualizaciones que describan las similitudes entre individuos y variables manteniendo al mínimo la pérdida de información. Para esto existen dos métodos:

- Análisis de componentes principales, basado en álgebra lineal, que produce representaciones gráficas en las cuales las proximidades en el plano entre filas y columnas se traducen en correlación. El análisis de correspondencias múltiples (ACM) puede entenderse como parte de esta familia de métodos.
- Métodos de clasificación que crean grupos homogéneos dentro de filas y columnas. Estos se clasifican en métodos jerárquicos (a través de dendogramas) y métodos de partición (mejor adaptados a grandes conjuntos de datos).

Para los detalles matemáticos, estadísticos y computacionales de estos métodos, véanse Díaz (2002); Escofier & Pagès (1990); Lebart, Salem & Berry (1998); Lebart, Piron & Morineau (2006); Zhao (2013, capitulo 10).

En el caso particular de la encuesta a investigadores nacionales del área de ciencias básicas y el espacio, se realizó un análisis de correspondencias múltiples (ACM), con el fin de resumir la información de todas las categorías. En el plano factorial obtenido pueden analizarse relaciones entre las categorías o relaciones entre individuos, pues, como se mencionó, la cercanía entre dos coordenadas implica una asociación estadística entre los objetos considerados (Lebart, Piron & Morineau, 2006). Posteriormente, se complementa el análisis con un método de clasificación sobre los individuos, usando las coordenadas de los ejes del ACM, con el fin de detectar grupos de individuos según sus variables de caracterización que compartan características similares en sus respuestas a las preguntas abiertas. En este punto se decide el número de clases en las que se van a agrupar los encuestados, de tal manera que la variabilidad dentro de los grupos sea baja (individuos homogéneos dentro de las clases). El método de Ward fue usado para la clasificación jerárquica. Estos métodos fueron programados en la librería FactoClass (Pardo, Campo & Torres, 2018) del software estadístico libre R (2020).

Aplicación de los métodos

En esta sección presentaremos el análisis de cada una de las preguntas de la encuesta, iniciando con su respectivo *wordcloud* para todas las respuestas de los investigadores en la muestra. Asimismo. estudiaremos las asociaciones de estas palabras con otras, donde los valores cercanos a 1 indican que las palabras aparecen casi siempre asociadas una con otra, mientras que los valores cercanos a 0 indican que nunca o casi nunca lo hacen.

Pregunta 1. Mencione al menos tres factores que limiten su capacidad para desarrollar investigación en el área de ciencias básicas y del espacio

Análisis descriptivo

Figura 12. Nube de palabras - Pregunta 1.

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

	Término	Frecuencia
1	falta	281
2	investigación	265
3	financiar	255
4	recurso	194
5	proyecto	121
6	tiempo	121
7	equipo	112
8	ciencia	99
9	estudiante	92
10	economía	87

Falta

Palabra	Nivel de asociación
postdoctorado	0,34
idioma	0,32
egresado	0,32
mecanismo	0,32
publicidad	0,32

Investigación

Palabra	Nivel de asociación
hacer	0,36
nanotecnología	0,33
compromiso	0,33
impedimentos	0,33
maestrías	0,33
industria	0,33
estudiantes	0,32
tesis	0,32

Recurso

Palabra	Nivel de asociación
económico	0,45
financiar	0,26

Financiar

Palabra	Nivel de asociación
préstamo	0,21

Estudiantes

Palabra	Nivel de asociación
tesis	0,55
doctorado	0,50
atraer	0,47
becas	0,43
compromiso	0,42
flojos	0,42
inequidad	0,42
roscas	0,42

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron cuatro grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 13).

Grupo 1 (17 %). Formado por individuos con edades entre los 35 y 44 años, con maestría y categoría de investigador *junior*. Abarca el 57 % del total de personas que dijeron que el factor que más limita su capacidad para desarrollar investigación es el presupuesto, y dentro del grupo el 80 % coinciden en esta afirmación.

Grupo 2 (6 %). Formado por el 93 % de todos los individuos con 65 años o más y todos eméritos. Estas personas manifiestan que entre los factores que más limitan su capacidad para desarrollar investigación está la política y dentro del grupo el 40 % coinciden en esta afirmación.

Grupo 3 (4 %). El 40 % de este grupo está formado por mujeres, se cuenta con el 83 % del total de individuos encuestados provenientes de la región Amazónica, y el 46 % de la Orinoquia. De estos, el 25 % se desempeñan en las áreas de las ciencias sociales, agrícolas u otras, y el 30 % tienen maestrías. El 60 % del total de individuos que manifestaron que la economía es un factor que limita su capacidad para desarrollar investigación está en este grupo.

Grupo 4 (18 %). Es un grupo caracterizado por personas con edades entre los 35 y 44 años, tiene el 38 % de todos los individuos que trabajan en el exterior y dentro del grupo el 92 % tiene un nivel académico máximo de doctorado. Este grupo manifestó que la burocracia y la financiación son los factores que más limita su capacidad para desarrollar investigación.

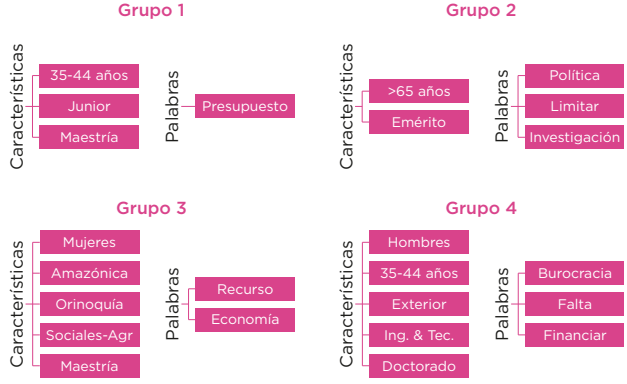


Figura 13. Grupos - Pregunta 1.

Pregunta 2. Mencione los retos más importantes hacia el futuro de su campo disciplinar en Colombia

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

Figura 14. Nube de palabras - Pregunta 2.

	Término	Frecuencia
1	investigación	223
2	desarrollar	164
3	ciencia	109
4	tecnología	100
5	país	97
6	conocimiento	88
7	básico	81
8	recurso	67
9	más	65
10	nuevo	63

Investigación

Palabra	Nivel de asociación
técnica	0,29
internacional	0,28
agilizar	0,28
limitación	0,28
universitario	0,28

Desarrollar

Palabra	Nivel de asociación
sostenible	0,39
pronóstico	0,34
docencia	0,33
riguroso	0,33
transparente	0,33
beneficiar	0,33

Conocimiento

Palabra	Nivel de asociación
asertivo	0,70
enfatizar	0,70
comparativo	0,70
cultivar	0,70
dimensión	0,70
particular	0,70
potencial	0,58
limitado	0,57

Ciencia

Palabra	Nivel de asociación
básico	0,69
acercar	0,37
adentrar	0,37

Ciencia

Palabra	Nivel de asociación
consolidar	0,33
aplicado	0,33
ambiental	0,33
contenido	0,33

Estudiantes

Palabra	Nivel de asociación
administrativo	0,37
agilizar	0,36
corrupción	0,36
diferencia	0,36
dilema	0,36

Más

Palabra	Nivel de asociación
rigor	0,49
visibilidad	0,49
pertinencia	0,34
público	0,34
difusión	0,33

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron tresgrupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 15).

Grupo 1 (20 %). Formado por individuos con un rango de edad ente 25 y 34 años, se cuenta con el 56 % del total global. Además, el 92 % de los encuestados que están en este grupo tienen categoría *junior* en Colciencias. Este grupo relaciona los retos hacia el futuro en su campo disciplinar con la producción, financiación, conocimiento y tecnología. Este grupo tiene el 30 y 40 % del total de individuos que mencionaron estas palabras.

Grupo 2 (22 %). Este grupo se caracteriza por tener el 100 % de los encuestados que pertenecen a la región Amazónica, que representan el 5 % dentro del grupo. Además, el 89 y 90 % de las personas de este grupo se desempeñan en el área de ciencias naturales y tienen doctorado, respectivamente. Se caracteriza por relacionar los retos hacia el futuro en su campo disciplinar con la biodiversidad y la investigación.

Grupo 3 (17 %). El 45 % de los encuestados del exterior conforman este grupo, que en su mayoría son hombres (85 %), con edades medias dentro del rango estudiado, y se desempeñan en área de las ciencias naturales. Se caracteriza por relacionar los retos hacia el futuro en su campo disciplinar con la necesidad de ciencia, investigadores y política.

Figura 15. Grupos - Pregunta 2.

Pregunta 3. En su opinión ¿qué políticas deberían implementarse en Colombia para desarrollar su campo de investigación?

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

Figura 16. Nube de palabras - Pregunta 3.

	Término	Frecuencia
1	investigación	433
2	política	276
3	ciencia	162
4	financiar	151
5	desarrollar	149
6	investigador	143
7	apoyar	136
8	recurso	125
9	proyecto	117
10	básico	116

Investigador

Palabra	Nivel de asociación
senior	0,51
semillero	0,42
acompañar	0,42
dificultad	0,42
perfilar	0,42

Básico

Palabra	Nivel de asociación
ciencia	0,81
enseñanza	0,53
característica	0,43
método	0,43

Recurso

Palabra	Nivel de asociación
gente	0,81
pensión	0,50
final	0,45
administrar	0,44
ganas	0,44
humano	0,44
empresarial	0,44

Proyecto

Palabra	Nivel de asociación
presentar	0,65
crónico	0,55
iniciado	0,55
laboral	0,55
motivar	0,45

Apoyar

Palabra	Nivel de asociación
básico	0,35
becado	0,35
beneficiario	0,35
posgrado	0,35
económico	0,35

Financiar

Palabra	Nivel de asociación
organización	0,39
articular	0,37
colegio	0,37

Universidad

Palabra	Nivel de asociación
despolitizar	0,40
eficiente	0,40
extranjera	0,40
investigador	0,40
salario	0,40
sustento	0,40
pública	0,36

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron tres grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados.

Grupo 1 (13 %). El 40 % de las personas que conforman el grupo se desempeña en el área de las ciencias de la salud, y el 30 % tiene entre 25 y 34 años. Asimismo, más del 24 % se desempeñan en la región Caribe. Este grupo opina que las políticas que se deberían aplicar en el país para desarrollar en su campo de investigación se enfocan en las palabras *proyecto*, *formación* y demás relativas a apoyos de financiación.

Grupo 2 (23 %). El 58 % del grupo está conformado por individuos con edades entre 55 y 64 años. Alrededor del 28 % de estas personas tienen doctorado y son de la región Andina. Este grupo opina que las políticas que se deberían aplicar en el país para desarrollar su campo de investigación se enfocan en las crear universidad e investigación.

Grupo 3 (5 %). El 50 % de las personas que lo conforman trabajan en la región Amazónica. Este grupo opina que las políticas que se deberían aplicar en el país para desarrollar su campo de investigación tienen que ver con los recursos públicos y la producción de carácter académico.

Figura 17. Grupos - Pregunta 3.

Pregunta 4. ¿Cómo las ciencias básicas y del espacio se pueden integrar al desarrollo nacional?

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

	Término	Frecuencia
1	desarrollar	332
2	ciencia	303
3	básico	244
4	investigación	207
5	país	154
6	conocimiento	153
7	tecnología	111
8	nacional	100
9	puede	94
10	producir	90

Figura 18. Nube de palabras - Pregunta 4.

Desarrollo

Palabra	Nivel de asociación
alternativa	0,31
dimensión	0,31
prohibición	0,31
urbano	0,31

País

Palabra	Nivel de asociación
avaricia	0,31
botadero	0,31
descontaminar	0,31
consumir	0,31
digno	0,31
reciclar	0,31
reforestar	0,31

Proyecto

Palabra	Nivel de asociación
manufactura	0,82
cartilla	0,82
arte	0,82
divulgación	0,82
investigativo	0,82
tutores	0,82
escuela	0,74
experimental	0,58

Investigación

Palabra	Nivel de asociación
agricultores	0,30
diseñar	0,30
documentar	0,30
evaluar	0,30

Ciencia

Palabra	Nivel de asociación
básica	0,79
tecnología	0,49
pregrado	0,35
doctoral	0,35

Políticas

Palabra	Nivel de asociación
claras	0,40
públicas	0,35

Colombia

Palabra	Nivel de asociación
carece	0,36
crimen	0,36

Colombia

Palabra	Nivel de asociación
educada	0,36
engaño	0,36
envidia	0,36
odio	0,36
necesita	0,36
crear	0,36

Formación

Palabra	Nivel de asociación
jóvenes	0,39
niños	0,34
obtener	0,34
senior	0,34
contribuir	0,34

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron tres grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 19).

Grupo 1 (20 %). El 93 % de las personas que conforman este grupo son hombres. De estos, un 65 % se desempeña en las ciencias naturales. Además, del total de individuos encuestados, el 49 % de los que pertenecen

Figura 19. Grupos - Pregunta 4.

a la región Pacífica representan el 24 % del grupo en estudio. Este grupo opina que para integrar las ciencias básicas y del espacio en los desarrollos nacionales se debe hacer y producir.

Grupo 2 (6 %). El 94 % de las personas que conforman este grupo tienen doctorado. De ellos el 75 % es de la región Andina. Asimismo, recoge al 23 % del total de individuos ente 45 y 54 años. Las personas de este grupo se caracterizan por hablar de la tecnología y el conocimiento como elementos de integración en el desarrollo nacional.

Grupo 3 (8 %). El 50 % de este grupo está formado por individuos que se desempeñan en la ingeniería y tecnología. Además, el 77 % tiene categoría *junior* en Colciencias. Los aportes que mencionan para el desarrollo nacional giran en torno a la innovación, pues mencionan las palabras: *aplicar*, *generar*, *permitir* y *nuevo*. Este último término es mencionado por cerca del 60 % de los individuos de este grupo.

Pregunta 5. ¿Qué espera como resultado de esta misión?

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

	Término	Frecuencia
1	investigación	229
2	ciencia	192
3	país	184
4	política	178
5	desarrollar	158
6	básico	79
7	más	72
8	tecnología	71
9	científico	68
10	gobernar	64

Figura 20. Nube de palabras - Pregunta 5.

Investigación

Palabra	Nivel de asociación
agricultor	0,30
diseñar	0,30
documentar	0,30
evaluar	0,30

Ciencia

Palabra	Nivel de asociación
básico	0,79
tecnología	0,49
pregrado	0,35
doctoral	0,35

Políticas

Palabra	Nivel de asociación
claras	0,40
públicas	0,35

Colombia

Palabra	Nivel de asociación
carece	0,36
crimen	0,36
educada	0,36
engaño	0,36
envidia	0,36
odio	0,36
necesita	0,36
crear	0,36

Formación

Palabra	Nivel de asociación
jóvenes	0,39
niños	0,34
obtener	0,34
senior	0,34
contribuir	0,34

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron dos grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 21).

Grupo 1 (20 %). El 85 % de este grupo son hombres con edades entre los 55 y 64 años. El 20 % pertenece a la región Pacífica y el 90 % tiene doctorado. Este grupo se caracteriza por evidenciar sus necesidades de una red de apoyo, ya que en sus respuestas se refieren a aumentar la investigación, la financiación y la investigación.

Grupo 2 (18 %). El 92 % de las personas de este grupo son hombres con edades entre los 35 y 44 años. El 10 % desempeña sus labores en el exterior, pero representan el 53 % del total general encuestado con esta marca. Asimismo, en su mayoría son de categoría *senior* en Colciencias. Este grupo espera que por medio de la misión se haga política.

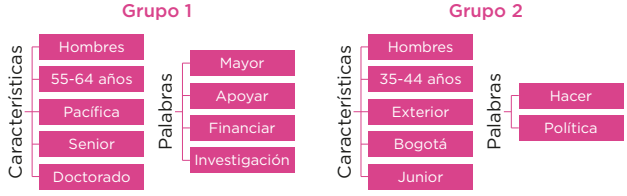


Figura 21. Grupos - Pregunta 5.

Pregunta 6. ¿Qué espera que cambie en el país en ciencia tecnología e innovación?

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

Figura 22. Nube de palabras - Pregunta 6.

	Término	Frecuencia
1	investigación	244
2	ciencia	178
3	desarrollar	146
4	país	135
5	política	131
6	más	125
7	tecnología	111
8	mayor	110
9	recurso	100
10	investigador	93

Investigación

Palabra	Nivel de asociación
agrícola	0,35
pregrado	0,28

Ciencia

Palabra	Nivel de asociación
tecnología	0,57
innovación	0,44
traba	0,29

País

Palabra	Nivel de asociación
anaqueles	0,61
aportar	0,61
apuntar	0,61
comercializar	0,61
visible	0,61

Más

Palabra	Nivel de asociación
continuidad	0,31
departamento	0,31
exclusividad	0,31
experiencia	0,31
semillero	0,31

Mayor

Palabra	Nivel de asociación
tecnología	0,40
ecológico	0,32
impacto	0,32
industrialización	0,32
relaciones	0,32
status	0,32

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron dos grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 23).

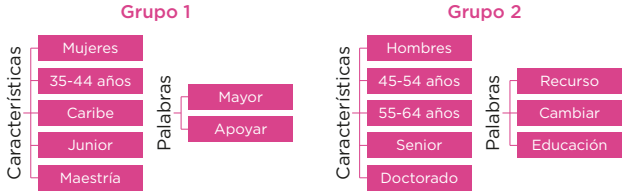


Figura 23. Grupos - Pregunta 6.

Grupo 1 (28 %). El 36 % de las personas del grupo son mujeres con edades entre los 35 y 44 años. El 29 % se desempeña en la región del Caribe, el 86 % tiene categoría *senior* de investigadoras en Colciencias y alrededor de la mitad cuenta con maestría. Con respecto a lo que esperan que cambie en cuanto a ciencia y tecnología el país, es claro que buscan mayor apoyo.

Grupo 2 (26 %). El 81 % del grupo está conformado por hombres, con edades entre los 45 y 64 años. El 95 % tiene doctorado y el 76 % tiene categoría de investigadores *senior* en Colciencias. Con respecto a los cambios que esperan en ciencia y tecnología en el país, se refieren a los recursos en general y a cambios en la educación.

Pregunta 7. Mencione tres estrategias que, en su opinión, podrían reforzarse o implementarse para establecer una colaboración científica sostenible con pares científicos en el extranjero

Análisis descriptivo

Los diez primeros términos y sus frecuencias para realizar el análisis son:

Figura 24. Nube de palabras - Pregunta 7.

	Término	Frecuencia
1	investigación	346
2	extranjero	235
3	investigador	226
4	científico	192
5	proyecto	175
6	país	168
7	internacional	164
8	colaborar	149
9	apoyar	148
10	financiar	144

Extranjero

Palabra	Nivel de asociación
admisión	0,34
candidato	0,34
talento	0,34
vincular	0,34
visado	0,34

Recurso

Palabra	Nivel de asociación
afectado	0,60
comprometer	0,60
hídrico	0,60
remuneración	0,34

Análisis de correspondencias múltiples

Para el ACM con el que se realiza el método de agrupamiento se eligieron tres grupos. A continuación, se realizará un resumen de cada uno de los grupos generados (figura 25).

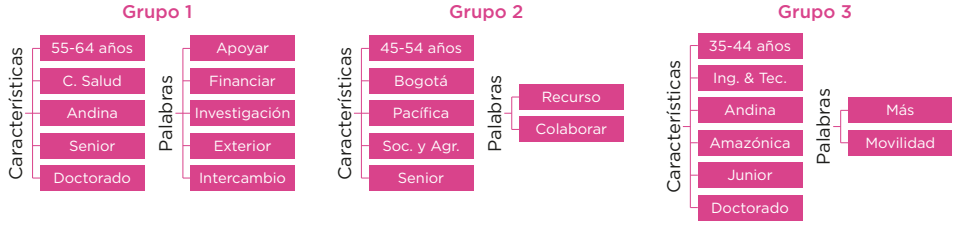


Figura 25. Grupos - Pregunta 7.

Grupo 1 (20 %). El primer grupo está caracterizado por individuos con edades entre los 55 y 64 años, de los cuales el 33 % se desempeñan en las ciencias de la salud, el 83 % provienen de la región Andina, y el 88 y 92 % son de categoría *senior* en Colciencias y tienen doctorado, respectivamente.

La estrategia planteada por este grupo para reforzar la colaboración científica con pares en el extranjero se enfoca en el intercambio de recursos y el apoyo financiero.

Grupo 2 (13 %). El segundo grupo se conforma por individuos con edades entre 45 a 54 años, que agrupa el 25 % de los que se encuentran en la región Pacífica. De estos el 56 % tienen categoría *senior* en Colciencias y el 35 % se desempeñan en las ciencias sociales, agrícolas y otras. La estrategia planteada por este grupo para reforzar la colaboración científica con pares en el extranjero se enfoca en visualizar sus necesidades sobre la falta de recursos.

Grupo 3 (22 %). El tercer grupo reúne el 75 % de los encuestados que provienen de la región Amazónica, de los cuales el 98 % tiene un nivel académico máximo de doctorado. Es claro que por la ubicación geográfica de estos individuos sus estrategias de colaboración con pares internacionales se refieren a mayor movilidad.

Reflexiones sobre los resultados de la encuesta

Todos los grupos en la primera pregunta respondieron que uno de los factores que más limita su capacidad para desarrollar investigación es la falta de recurso monetario, alrededor del 60 % de los individuos lo manifiesta. Adicionalmente, los profesores eméritos con edades superiores a los 65 años, en general, siempre hablan de la política como limitante o necesidad. De esta forma podemos mencionar que la primera gran conclusión es que la población identifica la falta de recursos y de políticas para la investigación como una de las grandes falencias para el desarrollo de las ciencias básicas.

El limitado acceso a las bases de datos y la baja dedicación de tiempo completo de los estudiantes en los niveles de maestría y doctorado es también una de las limitantes expuestas para el desarrollo del campo de investigación de los encuestados. Los encuestados mencionan también el bajo nivel de intercambio experimental, relacionado con la falta de asociación nacional e internacional para el uso de equipos robustos, así como a la carencia misma de infraestructura científica.

Entre los retos más importantes hacia el futuro (pregunta 2), todos sus grupos se caracteriza por tener personas jóvenes o de mediana edad que utilizan gran número de palabras para expresarse. En todos los grupos, alrededor del 40 % habla de la investigación o el conocimiento como un factor relevante y descuidado en su campo disciplinar. Adicionalmente, en el grupo 2 se encuentran todas las personas de la región Amazónica, y el 82 % habla de biodiversidad. En esta pregunta podemos concluir que los encuestados consideran que uno de los retos más importantes en su campo disciplinar es reconocer y fomentar la importancia de la investigación en ciencias básicas, generar investigación de alto nivel en el país, y considerar la importancia de tópicos como el cambio climático y la inteligencia artificial, con una mirada a largo plazo que trascienda los periodos gubernamentales. El fomento de la formación doctoral y de maestría en ciencias básicas es un elemento reiterado como un reto dentro del campo disciplinar.

Entre las políticas que deberían implementarse para desarrollar el campo de investigación de las disciplinas (pregunta 3), los grupos 1 y 3 se caracterizan por referirse a los partidos políticos en un 36 % y 71 %, respectivamente.

En general, cuando se habla de espacios que se pueden integrar para el desarrollo nacional (pregunta 4), los 3 grupos se caracterizan por hablar de temas relacionados con la innovación. En general, las personas usan palabras como *producir*, *hacer*, *generar*, *conocimiento*, en el 10 % de todo el discurso.

Sobre qué esperan de la misión (pregunta 5), fueron identificados dos grupos: uno conformado por personas entre los 55 y 64 años que, en general, esperan más apoyo monetario en temas de investigación. El otro, conformado por personas más jóvenes, con edades entre 35 y 44 años, se muestran recursivos ya que hablan del hacer, alrededor de un 60 %. Los encuestados esperan que la misión genere verdaderas políticas de ciencia, tecnología e innovación, con incentivos eficaces que permitan el desarrollo de un sistema que realmente articule la académica, la empresa, la sociedad y el gobierno mediante mayor inversión y formación de capital humano de alto nivel.

Por otro lado, sobre los cambios esperados en ciencia y tecnología (pregunta 6), el grupo 2, que tiene el 53 % de los individuos que se desempeñan en el exterior, se caracteriza por hablar de política, en un 36 %. Adicionalmente, el grupo 1, representado por hombres adultos con doctorado y categoría *senior*, esperan ayuda monetaria después de la misión. Para esta sección es claro que, nuevamente, la financiación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación es la preocupación más generalizada, junto con el fomento a los centros de investigación y a la conformación y sostenimiento de grupos de investigación. También es mencionada la importancia de apoyar a las universidades públicas y a sus sistemas de ciencia, tecnología e innovación. La generación de políticas a largo plazo es una de las grandes preocupaciones de los encuestados.

En cuanto a los cambios deseados en ciencia y tecnología (pregunta 6), el grupo 1, que caracteriza a mujeres del Caribe colombiano, desea tener mayor apoyo, el 70 %. Asimismo, los hombres mayores hablan de recursos y cambios en la educación. Las personas encuestadas mencionaron que el conocimiento en ciencias básicas es crucial para el desarrollo del país así como su integración a los procesos productivos, académicos, de investigación y desarrollo tanto empresarial como desde la academia misma. Estas personas hicieron énfasis en la importancia de desarrollar las ciencias básicas en el país para promover del desarrollo nacional a mediano y largo plazo, para apoyar tanto al sector productivo e impulsar el desarrollo tecnológico, haciendo uso y respetando al mismo tiempo los recursos naturales. La enseñanza de las ciencias básicas debe hacerse de la educación primaria y secundaria, para asegurar que esta juegue un papel importante en el desarrollo del país.

Finalmente, entre las estrategias para reforzar la colaboración científica con pares en el extranjero (pregunta 7), el grupo 3, que recoge al 75 % de las personas que se desempeñan en la región Amazónica, pide mayor movilidad, el 40 %. El grupo 1, caracterizado por el 83 % de las personas que se desempeñan en la región Andina, pide apoyar los intercambios y financiar la investigación.

Grupos de análisis por porcentajes de referencia

A continuación, se presentan los grupos de análisis para cada una de las preguntas con los porcentajes de referencia dentro de cada grupo, entre grupos y globales, se recomienda tener en cuenta las siguientes convenciones.

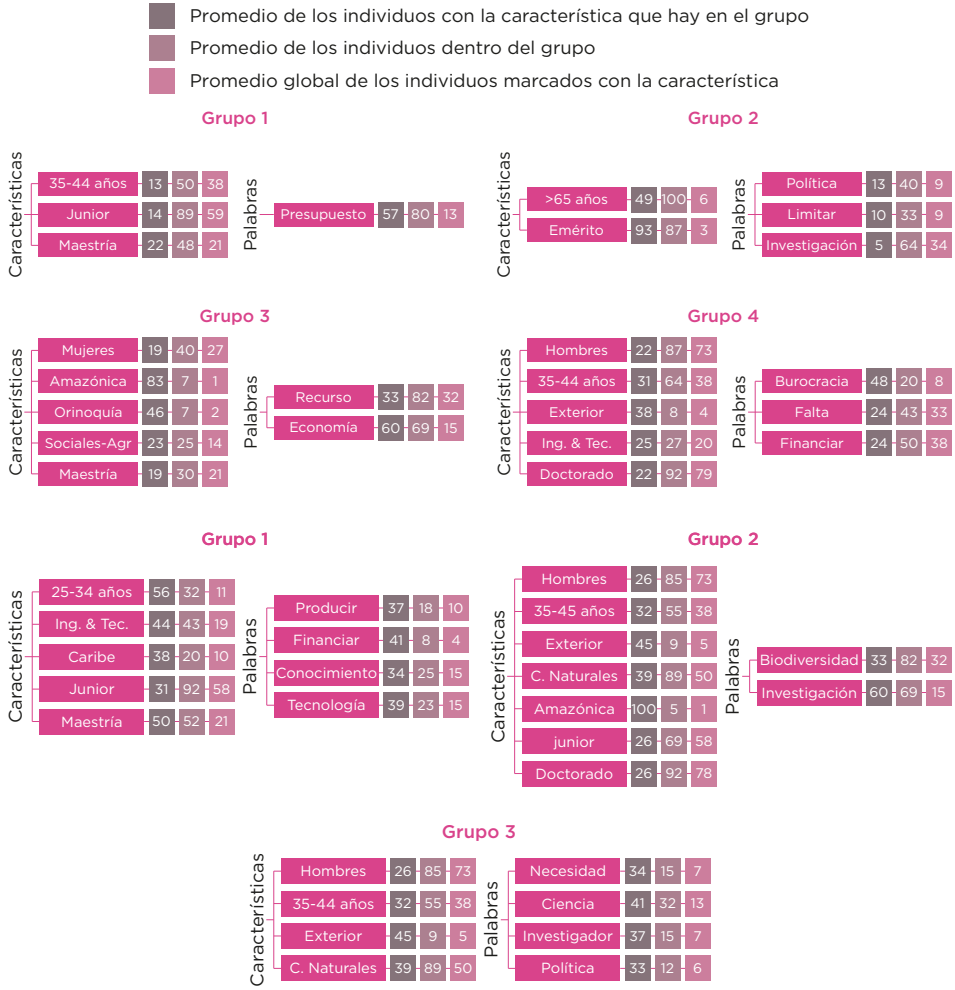


Figura 26. Grupos - Pregunta 1.

Figura 27. Grupos - Pregunta 2.

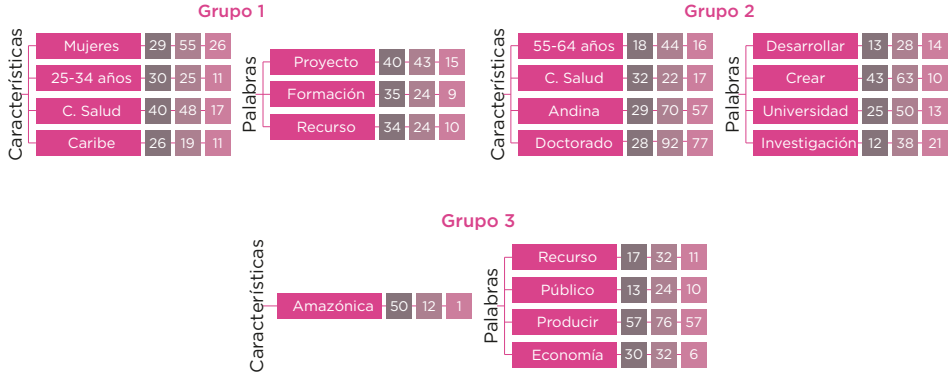


Figura 28.
Grupos - Pregunta 3.

Figura 29.
Grupos - Pregunta 4.

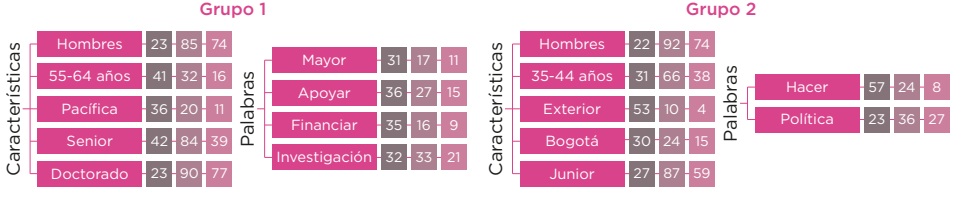


Figura 30.
Grupos - Pregunta 5.

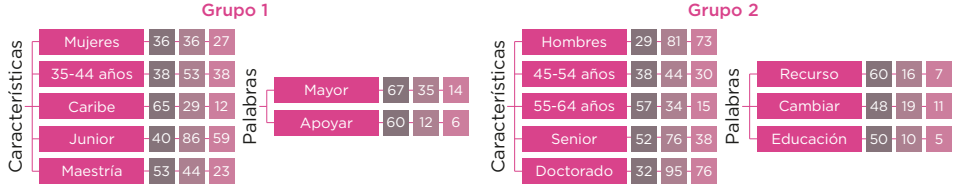
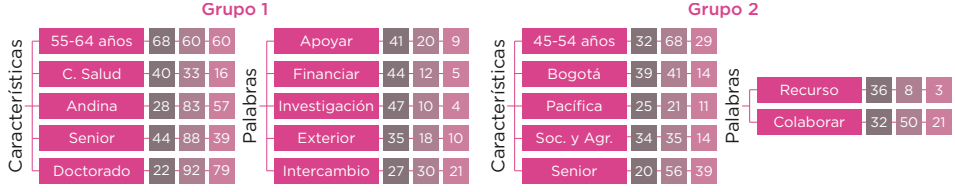


Figura 31. Grupos - Pregunta 6.



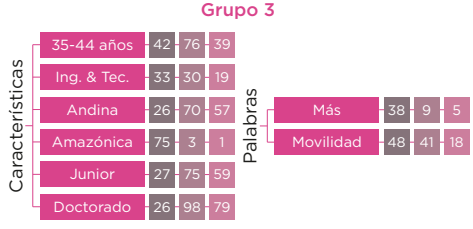


Figura 32. Grupos - Pregunta 7.

2. Encuentro de la Misión Internacional de Sabios Colombia

Camilo Younes Velos[30]
Diego Alejandro Torres Galind[31]
Jairo Alexis Rodríguez Lópe[32]

Del lunes 19 al miércoles 21 de agosto de 2019 se realizó en la ciudad de Manizales el Encuentro de la Misión Internacional de Sabios, organizado por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, Colciencia[33] y la Universidad Nacional de Colombia. El encuentro brindó la oportunidad de realizar reuniones de articulación entre los diferentes focos de la misión, tener un acercamiento entre sus diferentes miembros, dar una primera mirada a la labor de los focos mismos y tener interacciones con la ciudadanía en general, especialmente con niños y jóvenes, quienes ocuparon un lugar central. Este anexo presenta una mirada al encuentro que busca ser parte de la memoria histórica de la Misión Internacional de Sabios 2019. La tabla 9, la tabla 10 y la tabla 11 presentan el programa de cada uno de los tres días del encuentro, con información de los horarios, nombres de los eventos y una breve descripción de cada uno.

30 Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia y vicerrector de la Sede Manizales de la misma institución
31 Doctor en Física Nuclear de la Universidad Nacional de Colombia, profesor del Departamento de Física de la misma institución y miembro de la Secretaría Técnica del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019
32 Doctor en Física de la Universidad Nacional de Colombia, decano de la Facultad de Ciencias de la misma institución y miembro de la Secretaría Técnica del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019
33 A partir de diciembre de 2019 Colciencias pasó a ser el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Tabla 9. Programa del día 1 (Lunes 19 de agosto). Lugar: Universidad Nacional de Colombia - Campus El Cable, Facultad de Arquitectura, Biblioteca Germán Arciniegas.

Horario	Evento	Descripción
8:30-15:30	Encuentro Multifoco	El Encuentro Multifoco fue una sesión cerrada entre los coordinadores de los focos de la Misión Internacional de Sabios 2019, coordinada por el profesor Clemente Forero de la Universidad de los Andes, con el apoyo del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio y la Universidad Nacional de Colombia.
16:00-17:00	Encuentro Libre	El Encuentro Libre de los miembros de la comisión de sabios, con profesores de la Universidad Nacional de Colombia, y otras autoridades se realizó al final del Encuentro Multifoco.
19:00	Cena de bienvenida	Organizada por la Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 10. Programa del día 2 (Martes 20 de agosto). Lugar: Universidad Nacional de Colombia - Campus La Nubia.

Horario	Evento	Descripción
8:00-10:00	Instalación de la jornada	La instalación fue llevada a cabo por: • Luis Fernando Pérez Pérez, viceministro de Educación Nacional. • Diego Hernández Lozada, director de Colciencias. • Luz Teresa Gómez de Mantilla, vicerrectora de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia. • Moisés Wasserman Lerner, coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio. • Camilo Younes Velosa, vicerrector de la Sede Manizales de la Universidad Nacional de Colombia. • Iván Darío Agudelo Zapata, senador de la República. • Lina María Ramírez Londoño, presidenta Ejecutiva de la Cámara de Comercio de Manizales y Caldas. • Gobierno de Manizales.
10:45-12:00	Socialización con niños científicos y jóvenes investigadores	El evento contó con la presencia del personaje principal del programa de divulgación científica "Yongaritmo y los Polinomios", de la Universidad Nacional de Colombia.

Horario	Evento	Descripción
14:00-15:00	Conferencia Ana María Rey Ayala	Construyendo con cristales de luz y átomos: desde relojes precisos hasta computadores cuánticos..
15:00–17:00	Mesas de trabajo simultáneas con los miembros de los focos	Se realizaron ocho mesas de trabajo simultáneo entre miembros de los focos. Las mesas buscaban una interacción entre la comunidad académica de la Universidad Nacional de Colombia y, al menos, un miembro designado por otro foco de la Misión Internacional de Sabios, junto con un grupo de personas que se han inscrito voluntariamente a participar en las mismas mesas.
17:00-18:00	Conferencia de Antonio Julio Copete Villa	El mundo de la astrofísica de altas energías y la participación de jóvenes colombianos en la ciencia.
18:00-19:00	Coctel de bienvenida	Organizado por la Universidad Nacional de Colombia.

Horario	Evento	Descripción
8:00-10:00	Encuentro con industriales de la región	Llevada a cabo en la Universidad de Caldas, contó con la presencia de industriales y autoridades de la región.
10:00-11:00	Presentación pública de resultados	Rueda de prensa en donde se presentaron los resultados de los diferentes eventos.

Tabla 11. Programa del día 3 (Miércoles 21 de agosto). Lugar: Universidad de Caldas, Centro Cultural Rogelio Salmona, y Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, sala del Consejo de Sede.

Encuentro Multifoco

Uno de los grandes objetivos del encuentro fue la reunión de los miembros de la Misión de Sabios para discutir los progresos de cada uno de los focos y las acciones que deberían llevarse a cabo para alcanzar los objetivos planteados en la misión. El encuentro comenzó con una visita a las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, que resaltó la importancia que el desarrollo de El Cable dio a la región y a Colombia gracias a comercialización de café.

Los objetivos de la reunión fueron:

- Comentar la segunda versión del documento central de la Misión de Sabios, que fue entregada al Gobierno nacional en diciembre de 2019.
- Preparar la tercera versión del documento central, que incluyó las misiones emblemáticas y su resumen ejecutivo.
- Este documento fue traducido para recibir comentarios por parte de todos los comisionados de los diferentes focos. Por tanto, fue necesario resaltar el objetivo de cumplir la fecha del ensamblaje del documento prevista para el 30 de agosto de 2019.

La jornada contó con la participación de algunos miembros de la Misión de Sabios, personal de apoyo e invitados (tabla 12).

Al final de la sesión se definió la estructura general del documento central de la Misión de Sabios, se enfatizó en la necesidad de tener encuentros con diferentes por parte de los diferentes focos de la misión. Además, se resaltó la importancia de tener misiones emblemáticas, que hagan uso de los lineamientos brindados por Mariana Mazzucato (2018), numerales 1-5, a los cuales fueron añadidos los numerales 6 y 7, sugeridos

Figura 33. Miembros de la Misión de Sabios en el Campus El Cable de la Universidad Nacional de Colombia, Manizales, durante la sesión de apertura del encuentro el lunes 19 de agosto de 2020.

por la empresa española SILO, encargada de la Secretaria General de la Misión de Sabios:

1. Deberían ser audaces y abordar el valor social.
2. Deberían tener objetivos concretos, por lo que se sabe cuándo se llega allí.
3. Deberían involucrar la investigación y la innovación con disponibilidad tecnológica durante un tiempo limitado.
4. Deberían fomentar la colaboración intersectorial, interactiva e interdisciplinaria.
5. Deberían permitir múltiples soluciones competitivas y ascendentes.
6. Expresión sobre el territorio nacional.
7. Internacionalización.

Nombre	Institución
Clemente Forero	Universidad de los Andes
Moisés Wasserman	Universidad Nacional de Colombia
Andrés Franco	Universidad Jorge Tadeo Lozano
Edgar Puentes Melo	Orquesta Filarmónica de Bogotá
María del Pilar Noriega	Universidad Eafit
Juan Benavides	Fedesarrollo
Elizabeth Hodson	Pontificia Universidad Javeriana y Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Silvia Restrepo	Universidad de los Andes
Juliana Valdés	Universidad del Rosario
Diego Alejandro Torres	Universidad Nacional de Colombia
Carmenza Duque Beltrán	Universidad Nacional de Colombia
Sara Victoria Alvarado	Centro de Estudios Avanzados en Niñez y Juventud de Cinde
Jorge Reynolds	-
Eduardo Aldana	-

Tabla 12. Lista de algunos asistentes al Encuentro Multifoco de la Misión Internacional de Sabios realizada en Manizales el lunes 19 de agosto de 2019.

Talleres con niños científicos y jóvenes investigadores

En horas de la mañana del martes 20 de agosto de 2019 se llevó a cabo una jornada de interacción entre niños y jóvenes con miembros de la Misión Internacional de Sabios. El encuentro se dividió en dos partes paralelas al inicio de la jornada, una de presentaciones oficiales protocolarias por parte de representantes del Gobierno nacional, del Gobierno local, las autoridades académicas y la Misión de Sabios; y un taller paralelo llevado a cabo por alumnos y jóvenes investigadores. En la segunda parte del encuentro los niños y jóvenes se unieron con los representantes de los diferentes estamentos para tener una jornada conjunta de presentación de resultados y de interacción.

Durante las presentaciones destacó la importancia de la ciencia y la tecnología para el desarrollo del país, especialmente de la región del Eje Cafetero y de Caldas. Otro punto importante fue la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el cual deberá integrarse con el sector industrial y la academia para la creación de soluciones para la sociedad, innovaciones para las empresas y nuevas empresas basadas en conocimiento.

Figura 34. Presentación de resultados de los talleres con niños y jóvenes investigadores, junto con el personaje de divulgación científica Yongaritmo, de la Universidad Nacional de Colombia.

La integración de la ciencia en el sistema educativo fue otro de los puntos mencionados por los ponentes. La región de Manizales fue mencionada como un claro ejemplo de integración entre la educación y el desarrollo de la región, junto con la creación de un sistema de innovación y emprendimiento que nace en las mismas instituciones educativas y las universidades de la región.

De manera paralela, algunos niños y jóvenes investigadores trabajaron en una serie de talleres con miembros de la Misión de Sabios como la profesora Ana María Rey Ayala, del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, y el profesor Jairo Alexis Rodríguez López, decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, Bogotá, y parte de la Secretaria Técnica del foco. Los talleres se centraron en estudiar la importancia de la ciencia y la tecnología para el país y el mundo, y aquello que lo que los niños y jóvenes esperan de la Misión Internacional de sabios (figura 35).

Figura 35. Talleres acerca de la importancia de la Ciencia y la Tecnología para el mundo, y lo que esperan de la misión de sabios. Los talleres fueron desarrollados con niños y jóvenes investigadores, además de miembros de la misión de sabios.

En un segundo momento de la reunión los grupos de los niños y jóvenes se reunieron con los siguientes representantes del panel:

- Moisés Wasserman Lerner, exrector de la Universidad Nacional de Colombia y coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio.
- Ana María Rey Ayala, profesora de la Universidad de Colorado y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio.
- Diego Hernández, director de Colciencias y profesor de la Universidad Nacional de Colombia.
- Elizabeth Hodson, profesora de la Pontificia Universidad Javeriana.
- Eduardo Posada, profesor de la Universidad de los Andes.
- Iván Darío Agudelo, senador de la República.

La presentación fue coordinada por el personaje de divulgación científica Yongaritmo, interpretado por John Rodríguez, de la Unidad de Medios de Comunicación de la Universidad Nacional de Colombia (Unimedios). Los resultados fueron presentados en forma de pancartas que contenían una pregunta y una contribución. Dentro de las preguntas formuladas por los niños y jóvenes investigadores tenemos:

- ¿Cómo asegurar los recursos para el desarrollo, utilización en diferentes sectores e investigación de nuevas tecnologías de energías sostenibles?
- ¿Qué estrategias se deben tener desde la formación para tener acceso y desarrollo en las tecnologías bio- y nano- para la solución de problemas nacionales?
- ¿Cómo tomar consciencia del buen manejo de nuestro patrimonio natural?

En cuanto a las contribuciones presentadas por los niños y jóvenes vale la pena resaltar las siguientes:

- Generar una economía circular e impulsar el estudio de nuevas tecnologías en la adquisición de energía y la creación de industrias nacionales que produzcan dichas tecnologías e infraestructura energéticamente sostenible.

- Las tecnologías de la información y las comunicaciones revolucionan la educación. Se debe fortalecer el presupuesto e impulsar un verdadero cambio tecnológico.
- Hay que buscar compromisos tanto del Gobierno como de la sociedad para que la ciencia y la tecnología sean apropiadas de forma correcta.

Mesas de trabajo simultáneo con miembros de los focos

En la tarde del martes 20 de agosto se llevaron a cabo una serie de mesas de trabajo de miembros de los ocho focos de la Misión de Sabios con personas pertenecientes a la comunidad científica, de la academia, la industria y estudiantes, para tener una interacción directa. Las mesas de trabajo emplearon la siguiente metodología:

- Las mesas de trabajo se realizaron en el edificio Q y la biblioteca del campus La Nubia de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Cada mesa fue liderada por el profesor designado de la Universidad Nacional de Colombia. El profesor líder junto con los nombres de los grupos y sus participantes se presentan en la tabla 13.
- Los objetivos de las mesas fueron:
  - Tener una realimentación en dos vías de la labor realizada por los focos de la Misión de Sabios y los posibles aportes y recomendaciones de la Universidad Nacional de Colombia y los participantes de las mesas.
  - Generar un posible proyecto estratégico que sea transversal, interdisciplinario, con componente de educación fuerte, integración con la comunidad e internacionalización.
- Al inicio de cada mesa el representante de la Misión Internacional de Sabios hizo una exposición sucinta de los objetivos del foco y de resultados sobresalientes que puedan destacarse. Los salones tuvieron proyector y computador para la presentación.

- El profesor líder de la Universidad Nacional de Colombia pidió a los asistentes que se presentaran de manera muy corta.
- El profesor líder hizo algunas unas preguntas orientadoras, entre las cuales fueron sugeridas las siguientes:

    - ¿Cómo mejorar la interacción entre las áreas del conocimiento de su foco y la de ciencias básicas y del espacio?
    - ¿Qué propuestas o proyectos emblemáticos se podrían plantear dentro del foco de la mesa?
- Se trabajó con mapas mentales y lluvias de ideas coordinados por los profesores designados de la Universidad Nacional de Colombia.
- Los resultados fueron entregados a los representantes designados de la Misión Internacional de Sabios.

Tabla 13. Mesas de trabajo simultáneas realizadas el martes 20 de agosto de 2019.

Mesa 1: Foco de Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente • Silvia Restrepo • Elizabeth Hodson • Karina López López • María Isabel Chacón Sánchez	**Mesa 2: Foco de Ciencias Básicas y del Espacio** • Moisés Wasserman Lerner • Carmenza Duque Beltrán • Ana María Rey Ayala • Antonio Julio Copete Villa • Jairo Alexis Rodríguez • Carlos Daniel Acosta • Hernando Guillermo Gaitán • Diego Alejandro Torres
Mesa 3: Foco de Ciencias de la Vida y la Salud • Pablo Patiño Cadavid • Sara Valencia • Claudia Patricia Vaca González • Ariel Iván Ruíz Parra	**Mesa 4: Foco de Ciencias Sociales, Desarrollo Humano y Equidad** • Sara Victoria Alvarado • Olga Matilde Restrepo Forero • César Augusto Giraldo Giraldo
Mesa 5: Foco de Energía Sostenible • Omar Fredy Prias Caicedo • Eduardo Posada Flórez • Sandra Ximena Carvajal Quintero • John Edwin Candelo Becerra	**Mesa 6: Foco de Industria Creativas y Culturales** • Alejandra Jaramillo Morales • Edgar Puentes Melo • Luz Teresa Gómez de Mantilla

Mesa 7: Foco de Océanos y Recursos Hidrobiológicos	Mesa 8: Foco de Tecnologías Convergentes Nano-, Info- y Cognoindustrias
• Jorge Reynolds Pombo • José Ernesto Mancera Pineda • Yuley Mildrey Cardona Orozco	• Elías David Niño Ruíz • Mauricio Perfetti • Mauricio Arroyave • María del Pilar Noriega • Jeannette Zambrano Nájera • Néstor Darío Duque Méndez

Encuentro con industriales y gremios de la región

Se realizó un desayuno de trabajo en la Universidad de Caldas, al cual estuvieron invitados los miembros de la Misión de Sabios, el Gobierno local y autoridades universitarias junto con un grupo de industriales y representantes de gremios de la región. Este encuentro buscó la interacción entre los asistentes, acercando la triada Universidad-Industria-Estado desde la visión de la ciencia y la tecnología, y los miembros asistentes de la Misión Internacional de Sabios.

Rueda de prensa final

Para finalizar el encuentro en Manizales se realizó una presentación pública de resultados y una rueda de prensa en el Campus Palogrande de la Universidad Nacional de Colombia, sala del Consejo de Sede. Fue coordinada por la Unidad de Medios de Comunicación de la Universidad Nacional de Colombia, Unimedio[34].

34 Para más detalles sobre las actividades de la Misión de Sabios en Manizales, véanse *Agencia de Noticias* UN. (2019a, 2019b); *Opinión y Salud* (2019); Quintero (2019); Sánchez (2019) y Salazar (2019).

Figura 36. Rueda de prensa final. De izquierda a derecha aparecen Antonio Julio Copete Villa (Foco de Ciencias Básicas y del Espacio), Carmenza Duque Beltrán (Foco de Ciencias Básicas y del Espacio), Iván Darío Agudelo (senador de la República), Moisés Wasserman Lerner (Foco de Ciencias Básicas y del Espacio), Dolly Montoya (Rectora de la Universidad Nacional de Colombia), Alejandro Ceballos (Rector Universidad de Caldas), Diego Hernández (Director de Colciencias), Humberto Rosania (Vicepresidencia de la Republica) y Sonia Monroy (Subdirectora de Colciencias).

Consideraciones finales

El encuentro de la Misión Internacional de Sabios en la ciudad de Manizales fue una de sus actividades centrales. Contó con una gran participación por parte de sus miembros, la comunidad académica, representantes de los Gobiernos nacional y local, además de diferentes miembros de la sociedad.

El encuentro apoyó a los miembros de la Misión de Sabios en la consolidación del documento final, y fue una oportunidad para recibir opiniones muy positivas. Una gran conclusión del encuentro es la importancia de la construcción de una sociedad que brinde oportunidades a los niños y jóvenes. Fue una petición presentada de forma constante a lo largo del encuentro, que espera ser reflejada en el informe final de la Misión de Sabios 2019.

Organizadores

Comité organizador

- Camilo Younes Velosa, vicerrector de la Sede Manizales, Universidad Nacional de Colombia.
- Jairo Alexis Rodríguez, decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
- Carlos Daniel Acosta, decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Hernando Gaitán, director de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- Diego Alejandro Torres, profesor del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- Jeannette Zambrano, profesora del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Néstor Darío Duque, profesor del Departamento de Informática y Computación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Sandra Carvajal, profesora del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Mauricio López, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Alumnos de apoyo

Alejandra Sánchez Morales, Angie Paola Sánchez Morales, Diana Vanesa Sánchez Morales, Luis Felipe Londoño Rojas, Diana Patricia Quintero Lorza, Valentina Moncada Salazar, María Antonia Marín, Jacobo Gómez Soto, Juan David Sánchez Londoño, Daniel Espinosa Gómez, Albeiro Montes Gil, Manuel Alejandro Pérez Trujillo, Aldemir Vargas Eudor, Valentina Hernández López, Santiago Aguirre Gálvez, Luis Eduardo Ocampo Wilches, Felipe García Arias, Anyela Lorena Orozco Morena, Camilo Alejandro

Castillo Benavides, María Camila Márquez Bedoya, Mateo Alzate Jaramillo, Claudia Patricia Marín Ortiz, Lorena Giraldo Gómez, John Alexander Pachón Gómez, Luisa Fernanda Parra Gómez, Juan Vicente Guzmán Mercado, Angélica Betancourth, Jhoan Sebastián Pantoja Cárdenas, Diana Marcela Rey Valencia, Víctor Andrés Delgado Trujillo, Sergio Gutiérrez Zárate, Jhonatan Calderón Cardona, Catalina Torres Orozco, Karen López Buriticá, Jenny Paola Buitrago Aristizábal, Juan Ricardo Muñoz Galeano, Jhony Alexander Castaño León, Andrea Camila Acosta Solórzano, Yehidy Brand Uribe, Diego Alejandro Londoño Patiño, Iván David Buitrago Torres, Daniel Felipe Rodríguez Patiño, Juan Sebastián Salcedo Gallo, Estefany Chica Rivera, Daniel Felipe Gutiérrez Pulido, Juan Felipe García Franco, Santiago Bedoya Sánchez, Dahiana López García, Carlos Fernando Cardona Herrera, Juan David Marín, Jorge Eliécer Largo, Santiago Osorio Ruiz, Manuel Cipagauta Zambrano, Alejandra Rodríguez Zabala, Bryan Rendón, Salomé Arias Jaramillo.

Figura 7. Parte del grupo de alumnos de apoyo, el equipo coordinador del encuentro de la Universidad Nacional, miembros del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio y de Colciencias.

3. Conversatorio Creando Confianza Universidad-Empresa

Carmenza Duque Beltrán[35]
Hilda Arango de Ortega[36]

El 14 de mayo de 2019 se realizó el evento Construyendo Confianza Universidad-Empresa, en las instalaciones de la Universidad de la Sabana, campus del Puente del Común, Chía. El encuentro contó con la presencia de representantes de la academia y del sector industrial. Este anexo busca presentar las notas que recogen las ideas y sugerencias principales presentadas. El programa desarrollado durante el evento es presentado en la tabla 14 y los participantes son presentados en la tabla 15.

Horario	Actividad
12:00-14:00	Almuerzo y diálogo académico
	Palabras de bienvenida del Dr. Obdulio Velásquez, rector de la Universidad de La Sabana
	Presentación de los asistentes
	Palabras de bienvenida a cargo de uno de los miembros de la Misión de Sabios 2014

Tabla 14. Programa del Conversatorio Creando Confianza Universidad-Empresa, 14 de mayo de 2019.

35 Doctora en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón. Profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia y miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio de la Misión Internacional de Sabios 2019

36 Magíster en Economía y Finanzas de la University of Kansas, Estados Unidos. Exdecana de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de la Sabana.

Horario	Actividad
	Intervenciones de los representantes del sector empresarial y de las universidades en torno a la temática de las siguientes preguntas o en otros aspectos no mencionados en las preguntas, pero de importancia para los empresarios y rectores en la construcción de confianza. Universidad-Empresa: 1. ¿Qué requiere su empresa o grupo empresarial del sector académico para el incremento de su competitividad? 2. Mencione al menos tres de limitantes claves para una relación efectiva y eficiente del sector académico con su empresa. 3. ¿Cómo potenciar las relaciones directas o de entidades de enlace existentes entre Universidad-Empresa? ¿Hay necesidad de crear otras nuevas que funcionen más eficazmente? 4. ¿Cómo obtener la financiación adecuada para estas actividades?
14:15-16:00	Conversatorio entre los miembros de la Misión, rectores y empresarios con la comunidad invitada.
	Intervención de 10 minutos del representante de los focos con una presentación de los objetivos de la Misión de Sabios y del conversatorio.
	Intervención de 10 minutos de dos miembros de la misión sobre el objetivo del conversatorio.
	Cada representate de las empresas o grupos empresariales realizó una intervención de 10 minutos en la cual se presentó de manera sucinta ante el público, una respuesta a las preguntas arriba mostradas.
	Una vez terminada la ronda de intervenciones se realizó una ronda de preguntas hasta agotar el tiempo.

Tabla 15. Participantes del Conversatorio Creando Confianza Universidad-Empresa, 14 de mayo de 2019.

Horario	Actividad
16:00-16:10	Cierre por parte del moderador y un representante de la Misión

Grupo	Nombre	Institución - cargo
Organizadores	Hilda Arango de Ortega	Universidad de La Sabana
	Diego Torres	Universidad Nacional de Colombia

Grupo	Nombre	Institución - cargo
Misión de Sabios 2019 - Foco de Ciencias Básicas y del Espacio	Moisés Wasserman Lerner	Universidad Nacional de Colombia
Misión de Sabios 2019 - Foco de Ciencias Básicas y del Espacio	Carmenza Duque Beltrán	Universidad Nacional de Colombia
	Fanor Mondragón Pérez	Universidad de Antioquia (Asesor Universidad-Empresa-Estado para el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio)
Misión de Sabios 2019 - Tecnologías Convergentes e Industria 4.0	María del Pilar Noriega	Asesora del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho
Misión de Sabios 2019 - Foco Ciencias Sociales y Desarrollo Humano con Equidad	Clemente Forero	Universidad de los Andes
Gobierno nacional	Humberto Rosania	Vicepresidencia de la República de Colombia
Sector universitario	Obdulio Velásquez	Rector de la Universidad de La Sabana
	Dolly Montoya	Rectora de Universidad Nacional de Colombia
	Hugo Ramírez	Rector de la Universidad Militar
	Héctor Alfonso Rodríguez	Rector de la Escuela Colombiana de Ingeniería

Grupo	Nombre	Institución - cargo
Sector empresarial	Jaime Alberto Ángel	Presidente de Corona Industrial, del Grupo Corona
	Óscar Alberto Ochoa	Director de Investigación y Desarrollo-Negocios de Cárnicos del Grupo Nutresa
Sector empresarial	Germán Fernández Pardo	Gerente de Comunicaciones para los Países Andinos de Bayer Países Andinos
	Fabio González	director de Producción de Vecol S. A.
	Francisco Manrique	Presidente de Connect Bogotá-Región
	Julián Camilo Bocanegra	Global Marketing Operations and Lead Management Advisors de Oracle Colombia

Conversatorio

Algunas preguntas base del conversatorio formuladas a los empresarios:

- ¿Qué requiere su empresa o grupo empresarial del sector académico para el incremento de su competitividad?
- Mencione al menos tres limitantes claves para una relación efectiva y eficiente del sector académico con su empresa.
- ¿Cómo potenciar las relaciones directas o de entidades de enlace existentes entre Universidad y empresa? ¿Habrá necesidad de crear otras nuevas que funcionen más eficazmente?
- ¿Cómo obtener la financiación adecuada para estas actividades?

Participantes de la Misión de Sabios 2019

Palabras de bienvenida y agradecimiento a los organizadores Universidad de La Sabana y a la Universidad Nacional de Colombia (secretaría técnica del Foco de Ciencias Básicas de la Misión de Sabios). De parte de la Vicepresidencia de la República, el Dr. Humberto Rosania expresó su complacencia institucional por este escenario que cumple lo que la Vicepresidencia visualizaba para un primer encuentro con los empresarios del país. El Gobierno quiere transformar la economía de Colombia por una economía del conocimiento, y este encuentro Universidad-Empresa-Estado, es necesario para empezar a diseñar una hoja de ruta en ciencia, tecnología e innovación (CTeI) para los próximos veinticinco años.

Carmenza Duque Beltrán

Inicialmente y para alimentar la discusión, la profesora Duque expuso desde las ciencias básicas las siguientes ideas:

La ciencia básica es el punto inicial del conocimiento científico, es el punto donde se originan todas las teorías y conceptos, es el punto donde encuentran soporte las ciencias aplicadas, es el sustento del desarrollo de productos, metodologías y tecnologías que la sociedad puede apropiar para su bienestar. No es fácil trazar una línea divisoria entre ciencia básica y ciencia aplicada o tecnología, es más fácil aclarar que no existe ciencia aplicada si no hay ciencia básica que la respalde. No puede haber desarrollos tecnológicos que beneficien a la sociedad o a los seres vivientes del planeta si estos no hubieren sido precedidos por desarrollos científicos básicos.

Aunque los beneficios económicos de la ciencia básica no se ven en un principio, ellos saltan a la vista cuando, al pasar el tiempo, surgen aplicaciones o invenciones tecnológicas derivadas de ese conocimiento, como sucede en la mayoría de los casos, en muchos de ellos se mueven billones y billones de dólares. Daré solo dos ejemplos: el primero se refiere a la comunicación inalámbrica fruto de los trabajos de ciencia básica de los físicos a comienzos del siglo XX, la cual fue el punto de origen a los teléfonos celulares en las últimas décadas de ese mismo siglo, y el segundo los trabajos de ciencia básica y computación que fueron claves para el desarrollo de sistemas de geolocalización global (GPS) y para internet y sus

amplísimas aplicaciones que incluyen el intercambio a través del globo terrestre de cientos de terabytes de información por minuto.

Es importante considerar que Colombia está rezagada en la colaboración entre el sector productivo y la academia cuando se le compara con pares internacionales, y cada día que pasa esta relación se deteriora. Según algunas cifras de los indicadores internacionales tomados de Scopus 2018, Colombia muestra anualmente cifras menores al 0,7 % de publicaciones conjuntas Universidad-empresa, cifras extremadamente bajas cuando se comparan con las mostradas por países desarrollados como Estados Unidos, Corea del Sur y Singapur, estos dos últimos países, hacia la década del 70 eran tan pobres como nosotros pero hoy se encuentran como actores relevantes en el desarrollo económico mundial gracias a su inversión en CTeI, entre otras razones por realizar trabajo en equipo Universidad-empresa en temas estratégicos. En el caso de patentes y de acuerdo con la Superintendencia de Industria y Comercio, Colombia ha avanzado a una cifra de cerca de 200 patentes por año, cifra bajísima (irrisoria) comparada con lo que se hace en países desarrollados. No podemos continuar hablando de innovación si esta no va ligada a una patente, o mejor se hace necesario construir ambientes donde la investigación, la creación de conocimiento y la innovación se transformen en patentes.

Hay bajas inversiones del Estado en CTeI: 0,23 % del PIB en investigación y desarrollo, y 0,67 % del PIB para actividades totales de ciencia (ACTI), aunque vale la pena resaltar que últimamente ha habido un incremento de la *contribución* del sector privado.

La creación de conocimiento y su transformación en tecnología no se hace por individuos solitarios: es necesario un ambiente de cooperación entre las instituciones que hacen investigación y los sectores a quienes va dirigido ese conocimiento. En este punto, hablando de actividades cooperativas entre Universidad y empresa, el país cuenta (al menos en teoría) con un conjunto diverso de entidades de enlace entre la academia y las empresas alrededor de proyectos de generación y uso del conocimiento, centros de desarrollo tecnológico, centros e institutos de investigación, oficinas de transferencia de resultados a la industria (OTRI), centros de productividad, parques de ciencia, tecnología y desarrollo tecnológico, *spin-off*.

A pesar de las ventajas anteriores se detectan en general problemas como la volatilidad de la financiación, la limitada capacitación especializada de su talento humano e insuficientes incentivos para el trabajo colaborativo.

Para finalizar se recordaron las palabras del economista José Antonio Ocampo: "el conocimiento productivo es el centro del desarrollo económico de cualquier país" y "el conocimiento productivo es la capacidad que tiene un equipo para hacer una tarea, para trabajar en forma cooperativa, sea en un pequeño negocio casero, una fábrica, una oficina de profesionales o un laboratorio científico. Los conocimientos y habilidades individuales son apenas las piezas que, como las fichas en el juego de Scrabble, valen solo en la medida en que puedan ser colocadas en un entramado de palabras cada vez más complejas". Por último, se invitó a los participantes a una discusión franca a través de la cual se pudieran obtener insumos para el diseño de un camino hacia una articulación efectiva entre Universidad y empresa.

Clemente Forero

Colombia requiere crecer, pero también ser equitativa. Aunque parecen ser estos dos objetivos contradictorios, sin embargo, al estudiar casos como Estados Unidos, Corea y Finlandia se ha visto que pueden ser compatibles a través de la educación y del conocimiento. Con este propósito de aumentar el acceso a la educación se han hecho 14 propuestas (8 en educación, 5 en conocimiento e innovación y una convocatoria a las ciencias sociales). La estrategia seguida ha sido la de articular la oferta y la demanda de conocimiento. La oferta de las universidades en materia de conocimiento que requieren los sectores productivos del país es bastante escasa para las necesidades, mientras las empresas (agrícolas, industriales o de servicios) observan que hay poca capacidad de innovación y poca competencia en gestión de la innovación y también que no pueden absorber el conocimiento (fuente: 2250 encuestas hechas por el DANE). Así, no se trata solo de apoyar a las empresas existentes con subsidios, tenemos que pensar en apoyar con capital de riesgo a empresas innovadoras que creen nuevos mercados.

El Foco en Educación está trabajando en dos niveles principalmente: en la primera infancia, cuando el estudiante entra al sistema educativo,

y al final de la secundaria cuando este sale de este sistema. Se quiere la universalización en los niveles entre cero y cinco años, así como de la secundaria.

Tenemos en el país muchos sistemas de investigación todos con base legal: en educación superior, en salud, en el agro, en lo ambiental, el OCAD. Así que hay que integrar estos sectores y la mejor manera de hacerlo es a través del MinCTeI. Para evitar problemas de gobernanza (ministros vs. ministros), se puede pensar en un gran consejo nacional de CTeI, presidido por el presidente y al cual asistan varios de los ministros involucrados.

Fanor Mondragón Pérez

Debemos pensar a nivel país, y por lo tanto las propuestas que hagamos también deben tener gran alcance a nivel país. Según cifras actuales existen 2 700 000 pequeñas y medianas industrias (pymes) y grandes industrias. Solo el 0,2 % de ellas es innovador, es decir solo unas 5400 empresas podrían ser competitivas en el mercado mundial, el resto de las empresas necesitan un decidido apoyo del Estado para mejorar sus procesos y productos. Con esta cruda realidad, puede decirse que nuestra industria está lejos de ser competitiva.

Colombia necesita generar empleo calificado y para lograrlo es necesario que las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas adopten los resultados de las investigaciones científicas y tecnológicas desarrolladas en el país para generar innovación en sus productos y de esta manera ser competitivas nacional e internacionalmente. Cuando una empresa utiliza descubrimientos innovadores para generar nuevos productos se crean nuevas demandas en el mercado y en estos casos las ganancias son grandes y duraderas en el tiempo. Este es el tipo de productos que se obtienen a partir de la investigación básica.

En conclusión, la academia, la industria, la Misión de Sabios y el MinCTeI deben comprometerse en un gran pacto nacional por la ciencia, en un propósito común, definiendo políticas y mecanismos de operación y financiación a veinte o treinta años para que Colombia entre en la ruta de desarrollo acelerado que marque el comienzo de la solución a los enormes problemas de inequidad y pobreza que hoy tenemos.

María del Pilar Noriega

¿Qué es convergencia tecnológica? Aunque hay varias definiciones, se hizo énfasis en la definición clásica: nano-, bio-, cogno- y tecnologías de la información y las comunicaciones. En este foco de la misión podría decirse que nano- y bio- son el hardware y cogno- y comunicaciones el software. En nano- se estaría involucrando el átomo, en bio- las células y genes, en cogno- las neuronas y en comunicaciones los bits.

Se explicó que el trabajo en ese foco está dividido así: 1) Capa fundacional hay que tener en cuenta la conectividad (solo 2/3 del país la tiene), la seguridad de los datos, la identificación digital (empresas, ciudadanos... etc.), la seguridad de los datos y la privacidad de los datos. 2) Capa de valor donde se considera la inteligencia artificial, la realidad virtual y aumentada, el lenguaje natural, la robótica, el *big data*, los datos inteligentes, el internet de las cosas. 3) Capa de innovación en la cual están involucradas los diferentes ejes mencionados, nano-, bio-, cogno- e info-. Esta actividad es muy importante: su objetivo son nuevos productos y servicios que no estén en nuestros mercados y que quizá no estén en otros lugares del mundo. También nuevos modelos de negocios, que ahora son muy rápidos, muy integrados etc., capacidad de crear soluciones, y emprendimiento. 4) Capa beneficiaria en la cual estarían todos los colombianos, estas tecnologías y sus beneficios solo serán exitosos si son inclusivos. Hay que alfabetizar masivamente al país para acercar las diferentes capas sociales.

Adicionalmente, se habló de las transversalidades, como las alianzas público-privadas nacionales e internacionales, la ubicación de Colombia como un sitio de investigación e innovación atractivo para capitales con reglas fijas de largo plazo para que el capital se quede. Hay que modernizar la academia. Por último, el tema del talento humano fue tratado como muy importante y sobre todo por la pregunta sobre cómo retenerlo: tenemos una diáspora colombiana formada en estos temas y debemos trabajar para articularnos con ella. Toda esta industria requiere de nueva legislación y normativa que permita su desarrollo y su articulación haciendo sinergia con lo existente.

Participantes del sector empresarial

Jaime Alberto Ángel

Hace quince años Corona seguía a los líderes mundiales en este sector industrial, tratando de no quedarse rezagada y manteniendo una buena posición competitiva. Inclusive su modelo contemplaba la formación de talento humano en los *clusters* importantes de cerámica del mundo. Sin embargo, hoy el mundo se volvió global con exigencias y retos muy grandes, modelos de negocios disruptivos, países con ventajas comparativas muy grandes para sus empresarios, etc., que exigieron cambiar a una nueva estrategia de trabajo. Esta comprende la innovación para generar productos nuevos no solo para el país, sino para el mundo. Innovar se volvió la regla y no un proceso ocasional. Así, siguiendo esta estrategia, aunque se tenía poco conocimiento en este sentido, se buscaron aliados importantes en universidades del exterior y de Colombia. Corona insertó sus ingenieros en programas doctorales o en proyectos específicos de esas universidades y se ideó el Comité Universidad-Empresa. Se logró crear una política de colaboración, formación y puesta en marcha de grupos internos de investigación-innovación, los cuales han mostrado ser una fuente soporte de desarrollo para la empresa. Como no se había trabajado antes en conjunto con la universidad, surgieron situaciones impensables, como los asuntos de propiedad intelectual, asuntos de confidencialidad, visitas a la universidad, interés de la universidad por el desarrollo de la empresa, trabajo en equipo (ecosistema potente), lazos con Tecnova y Connect y con institutos tecnológicos, etc. Frutos de esta colaboración han sido productos impensables para el mundo, sustentados con patentes de invención en Europa y Estados Unidos, los cuales ahora marcan la diferencia porque son competitivos y no los tienen los competidores internacionales. Adicionalmente, se convirtió en un privilegio para los empresarios estar en este ecosistema.

Ejemplos de este tipo de productos desarrollados con la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia son, entre otros, los sanitarios que no requieren agua o que necesitan cantidades menores a 1 litro, encapsulación de minerales usando bases tales como $CaCO_3$,

producto disruptivo cuya comercialización ha llegado ya a cerca de $ 6000 millones de pesos.

Finalmente, se concluye que esta alianza entre la universidad y la empresa funciona, pero hay que canalizar recursos para proyectos (por ejemplo del MinCTeI) y destinar recursos propios. El mensaje positivo: "es posible desarrollar novedades para el mundo". ¿Cómo se logra?: "trabajando y desarrollando equipos de colaboración, abriendo las puertas, dando el espacio, teniendo confianza en los grupos de investigación para que la universidad trabaje en temas aplicados".

Óscar Alberto Ochoa

Se ha logrado una relación exitosa entre la Universidad y la empresa, esta se ha convertido en un apalancador del desarrollo del grupo con la investigación como elemento indispensable para hacerlo. El camino seguido involucra los siguientes pasos: prospectiva, inteligencia o vigilancia estratégica, investigación aplicada, desarrollo de soluciones y propiedad intelectual. Siguiendo estos pasos, la innovación sucede en forma natural.

Actualmente Nutresa tiene cuatro grupos de investigación resultado del trabajo entre Universidad-Empresa, inclusive estos grupos han sido clasificados por Colciencias (hoy MinCTeI), lo cual les permite estar dentro del Sistema de CTeI. Con estos procesos colaborativos, el 70 % de las ventas de productos de innovación tienen alguna investigación detrás y la mayoría hechas con las universidades. Como puede observarse esta unión realmente representa un matrimonio exitoso. Luego menciona algunos ejemplos exitosos, particularmente desarrollados con la Universidad de La Sabana. También Nutresa opina que el Estado debe garantizar no solo financiación, sino también un escenario donde se privilegien los productos originados en estas relaciones Universidad-Empresa. Propósito y lenguaje comunes. Un tema adicional presentado fue el relacionado con hacer explícita la aceptación de publicar este conocimiento como lo hace la investigación corriente, esto permite ganar visibilidad.

Germán Fernández Pardo

La relación Universidad-empresa es fundamental. Los productos más importantes de esta empresa que hay en el mercado han sido el resultado de esta alianza, particularmente en los campos de la medicina y la agricultura. El primer reto importante es que para el 2050 seremos 10 000 millones de personas, ¿cómo se van a alimentar? ¿Cómo será su atención en salud? Hay que producir más y de mejor calidad. Para hacerlo se necesita mucha ciencia e innovación. Segundo reto: debe trabajarse para que la ciencia y la innovación tengan aceptación social. Tercer reto: importancia de la segunda fase de la innovación, no de quien la financia sino de quién la compra. ¿Cómo acceder a ella lo más temprano posible? La Universidad tiene mucho que aportar en este aspecto.

Otros desarrollos de esta empresa se refieren a patologías en enfermedades oftalmológicas, la telemedicina, bases de datos en estudios de salud y políticas públicas al respecto. En el tema agrícola recomienda que, en vez de dar subsidios, se ofrezcan paquetes tecnológicos y se eduque al agricultor.

También se hizo énfasis en la creación de nuevas empresas *start-ups*, e invitó a hacer propuestas de proyectos. Como conclusión, enfatiza que *hay que hacer innovación o llegar lo más temprano posible a ella para aprovechar los beneficios de esa innovación*.

Fabio González

Esta empresa pertenece en un 82 % al Estado colombiano y el otro 18 % está en manos del sector privado agropecuario. Tienen un grupo de investigación clasificado por Colciencias (actualmente Minctei). Ya hay alianzas estratégicas con las principales universidades del país, en varios temas y con Agrosavia y otras instituciones. ¿Qué requieren de la academia? 1) Que la universidad tenga una mayor visión de industria para llegar a productos tangibles. 2) Si las universidades tienen granjas experimentales que estas sean prestadas a esta industria. 3) En el mismo sentido, en relación con Comités de ética. 4) Como no hay mucho conocimiento de lo que hace la universidad ni de lo que hace la empresa, es importante iniciar un proceso de acercamiento que venza la desconfianza que existe entre las partes.

Francisco Manrique

El Dr. Manrique plantea a los asistentes al conversatorio inquietudes importantes en CTeI. ¿Cuáles son las grandes preguntas que este país debe hacerse? En el 2010 el tema no era un tema de conversación. ¿Cuáles son las lecciones aprendidas después de nueve años de habernos metido en el tema de la innovación? ¿Cómo podemos aportar al contexto colaborativo? ¿Cuáles son los temas, impactos y retos que el país debe considerar para apuntar hacia el desarrollo? ¿Qué genera el sentido de urgencia en un país? Se necesitan cambios constitucionales que vayan de la mano con lo que se quiere hacer. Como pronto habrá elecciones regionales, vale la pena preguntarse, si estos temas podrán incorporarse en el discurso de los políticos ¿Cómo innovar el sistema político del país? Esta sociedad necesita formar líderes capaces. Hay dirigentes, pero no líderes.

Julián Camilo Bocanegra

Oracle vive las nuevas tecnologías de los sistemas, que quiere ser actores de cambio, no espectadores desde la barrera. Su misión es transformar el mundo, empoderando a las personas, es decir democratizar la tecnología. Deben prepararse profesionales para enfrentar el mundo digital, incrementar el rol y liderazgo de la mujer en negocios y en tecnología. Es necesario mejorar el talento humano en capacidades digitales para enfrentar el mundo en todos sus sectores. Hay gran valor de la colaboración en un entorno digital. La generación Oracle (generación O) busca la relación de la empresa con semilleros de investigación y con semilleros de emprendimiento. Finalmente, la innovación disruptiva con impacto social, inversión a cero costos (centros de innovación), matrimonio clave para el desarrollo del país.

Participantes del sector universitario

Obdulio Velásquez

Palabras de bienvenida. El rector explica el origen de la idea de reunir el sector académico, la empresa y la Misión de Sabios, la cual se puede resumir en el deseo de fortalecer la relación entre Universidad, empresa

y Estado y vincularla con lo regional, en este caso particular en la región Sabana Centro, proyecto Sabana Sostenible. Sin investigación no se hace universidad, ni se hace empresa, la investigación es un catalizador de todos los procesos de aprendizaje, tecnologías e industrias, incluyendo a las nacientes en la cuarta Revolución industrial. Aunque todos hablan de esto hay una serie de problemas que deberían ser abordados antes, ejemplo, el sector de educación está en crisis y esto afecta la investigación. No hay flexibilidad para cambiar estructuras, el marco jurídico existente no sirve para agilizar los procesos (la inspección y la vigilancia es todo un proceso gravoso, aunque podría ser más flexible), el programa de Doctorado en Innovación y Tecnologías de la Educación de la Universidad de La Sabana es tan disruptivo que de pronto no lo aprueban en el Ministerio de Educación, la tecnología 4.0 va delante de la norma. Por otro lado, el sistema impositivo (prediales y otros impuestos) es ilógico, no hay un régimen especial para las universidades ¿no sería mejor dar becas que impuestos?. Las donaciones fluyen de manera errática, la educación virtual entró no solo a la universidad privada, entró para quedarse en el país.

Otro punto importante es el tema de lo regional. Las universidades de las regiones están de cara al mundo, pero de espaldas a las regiones. Hay que considerar que la población de los municipios de la sabana de Bogotá está incrementando muchísimo, podría llegar a medio millón de habitantes en el 2030 y a dos millones en el 2050. Entonces, ¿cuáles son los modelos sostenibles? La *Misión de Sabios tiene responsabilidad con los territorios*. Hay que asesorarse bien para conseguir un marco jurídico que no quede atrapado en el Congreso, que contribuya a aliviar su responsabilidad con el territorio. Finalmente, aduce que las universidades son muy individualistas, no están unidas, en contraste la innovación disruptiva en el siglo XXI se llama colaboración y el Minctei será el eje dorsal para la transformación del país.

Moisés Wasserman Lerner

Como coordinador del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio explica que la misión en este conversatorio ha venido con el objetivo fundamental de escuchar al sector de empresarios a quienes debe apoyar. La empresa piensa

que la Universidad está fuera de la realidad, sin embargo, la realidad es amplia y diversa, y los problemas de la sociedad muy complejos. En general el país se enriquece oyendo los conceptos desde varias orillas.

En relación con las expectativas de la Misión, piensa que hay que ponerlas en su punto. No podemos arreglar el país, no podemos decirle al país cómo hacerlo, pero sí podemos decir en qué hay que hacerlo. Por ejemplo, en el tema de armonizar las relaciones entre lo público y lo privado, que en general lo estamos abordando muy mal, podemos promover y fortalecer las alianzas entre lo público y lo privado estableciendo una normatividad que facilite estas relaciones. En la misión se está perfilando la idea de que se haga un proyecto de ley que incluya lo referente a esa normatividad que regule la relaciones público-privadas, y aunque no se cambiará el país, sí se pueden proponer cambios ambiciosos. En este último marco, el tema de la relación entre Universidad y empresa es absolutamente crítico. Los ministerios son entidades políticas, una ley trasciende los gobiernos pero no es absoluta, pero sí genera unas condiciones para que las cosas vayan en el camino correcto, así el llamado es a apoyar estas ideas. Ante una intervención de la Dra. Leonor Botero de la Universidad de La Sabana, el Prof. Wasserman está de acuerdo en incluir la legislación del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible relativa a los cambios necesarios para mejorar los procesos que en su aplicación obstaculizan, y paralizan las investigaciones en ciencia básica, sustento de aplicaciones que pueden proyectarse a la bioeconomía que hoy quiere hacer el país.

Dolly Montoya

Hemos promovido una política de Estado para formar a los jóvenes del país, formar más en el ser que en el tener, formar ciudadanos para el país que queremos. Buscamos una reglamentación que logre organizar todos los instrumentos que tenemos, trabajando conjuntamente los sectores públicos y privados dentro de una política de Estado centrada en educación. El otro punto global es ¿cómo estamos viendo el sistema de innovación? No debemos inventarnos la respuesta, en todos los países desarrollados están los empresarios, todos los sectores de innovación y desarrollo, la sociedad civil y, por supuesto, el Estado que lo regula. Decimos todo el

tiempo que debemos unirnos, pero no estamos unidos, por ejemplo, con los empresarios. Necesitamos una política de Estado que sirva de eje aglutinador, que genere fortaleza en la unión. Esperamos que el Ministerio de CTEI cumpla ese papel.

En relación con las ciencias básicas sabemos que no podemos hacer innovación sin ellas, pero tenemos que dejar de lado la idea de que podemos subirnos al tren de la innovación sin continuar los esfuerzos de educar en ciencias básicas. Junto con la innovación las ciencias básicas son vagones que corren simultáneamente en un mismo tren, pero la locomotora son las ciencias básicas. Nosotros como universidad consideramos que hay que fortalecer la investigación si queremos tener el país que soñamos, y por eso destinamos el 25 % del presupuesto a investigación. También estamos armonizando las actividades misionales, todas estas deben estar integradas para formar seres integrales también. Nuestra universidad es también pertinente y esto se muestra cuando trabajamos en los territorios.

Se están haciendo talleres en las nueve sedes con los actores de CTEI con el objetivo de hacer bioeconomía, fortalecer las ciencias básicas, fortalecer la infraestructura, aprender cómo se empoderan las comunidades, hacemos innovación social y también innovación tecnológica. En síntesis, es necesario pensar el sistema más global, por eso es importante saber para dónde vamos y considerar el proceso de desarrollo sostenible.

¿Qué nos unifica como país? Estamos matando a la gallina de los huevos de oro: no tenemos un acuerdo nacional de los actores del país. Ni siquiera estamos de acuerdo en mantener la paz. Sin paz no hay construcción de país que valga. Adicionalmente, estamos dañando el medio ambiente y tenemos muchísimos problemas en los que no nos ponemos de acuerdo. Por otro lado, hay que definir cuáles son las prioridades con inversión, pero pensando y actuando en grande.

Este es un momento muy importante para el país, estaríamos andando en la dirección correcta si esta misión lograra establecer las políticas de Estado para los próximos treinta años, si se lograra definir los sectores estratégicos en los que debemos trabajar con prioridad, si se consolidara el sistema nacional de innovación.

Hugo Ramírez

La Universidad Militar es una universidad pública del orden nacional. Tiene dos sedes, una de ellas está en Cajicá. El estar en Cajicá significa un reto y ellos están para ser la solución o para ayudar a resolver los problemas del sector empresarial. Entienden muy bien la importancia de este sector en la región, y por eso están trabajando de la mano con los empresarios. Están convencidos que las universidades tienen el conocimiento, tienen los grupos de investigación, y las capacidades que se necesitan en la colaboración con las empresas, pero también saben que estas condiciones no se están aprovechando. Clarifica que deberían existir políticas públicas que rijan los procesos para lograr esta colaboración, y qué esperan del MinCTeI como ente rector de esas políticas. Los campesinos quieren cambiar su calidad de vida, quieren manejar sus tierras (minifundios) como una empresa. Es en este punto, donde las universidades deben darles la mano con sus conceptos técnicos. Adicionalmente, como esta universidad no tiene todas las facilidades para hacer este trabajo, están generando alianzas con otras universidades de la región, están construyendo sinergias y compartiéndolas con la empresa privada. Están conscientes que generando confianza se puede llegar con proyectos a las regiones.

Héctor Alfonso Rodríguez

Es importante considerar que debemos estar presentes preparando los avances que tendrá el país en los próximos veinticinco años, y para ello hay que integrar el trabajo de la universidad con el sector privado. En general las universidades se dedican a la docencia porque trabajar en investigación es difícil por la falta de recursos. A pesar de esta situación, el rector expresa que sí le interesa hacer alianzas de trabajo entre universidades y empresas porque sabe son importantes en el sector rural. Hay que reconocer la vocación agrícola del país. Menciona una estructura de regadíos para mejorar la infraestructura del agro, lo que significa hacer desarrollo agrícola a través de la tecnificación.

Conclusiones, puntos básicos comunes y recomendaciones

Intervención de Moisés Wasserman Lerner

Esta fue una jornada sumamente instructiva y exitosa.

Reconocimiento de los problemas:

- Somos cortoplacistas.
- Hay baja inversión en ciencia y educación.
- Hay poca estima social del conocimiento.
- Hay deficiencias en la comunicación entre Universidad, Gobierno y empresas.
- Nuestra normatividad es inadecuada en muchos casos.
- Hay mala comprensión de las tareas del Estado y de lo social (entre los empresarios y los ciudadanos).
- Tenemos problemas en educación: bajo nivel de cobertura y calidad muy desigual.
- Hay problemas de comunicación entre el sector educativo y otros sistemas.
- Hay problemas para generar política pública basada en evidencias, a veces porque no se tienen datos o porque no se confía en los que tenemos.
- Hay deficiencia de la presencia del país en los ámbitos internacionales.

Soluciones o necesidades

- Modificar normativas estatales.
- Se necesita más gobierno basado en evidencias y conocimiento y menos por la pasión.
- Falta cultura de confianza y de cooperación, no hay necesidad de que el otro se convierta en uno para hacer cooperación.
- Generar un ecosistema de investigación e innovación interrelacionado con muchos otros sectores.

- El Ministerio de CTeI debe ser un punto de encuentro de los diferentes sistemas.
- Se necesita una reforma del modelo de educación para que esté más ordenado y mejor articulado en todos sus niveles: desde preescolar hasta los posgrados.
- Planificar el conocimiento sostenible con equidad.
- Crear sistemas de alerta que analicen e informen qué está pasando en el mundo.
- Hay necesidad de equilibrio integrado nacional y territorial.
- Aumentar nuestra capacidad de producir conocimiento.
- Armonizar lo público y lo privado.
- La innovación y la tecnología no deben ser meramente apropiadas, deben ser competitivas globalmente.
- Impulsar el logro de una ciudadanía científicamente informada.
- Se pregunta el profesor Wasserman, ¿qué debe seguir? ¿Qué proponer para darle solución a estos problemas y necesidades? ¿Deben continuar estos conversatorios con otras empresas?

Análisis del conversatorio

A continuación, se hace énfasis en algunos hechos y puntos básicos del conversatorio que servirán como insumos para el trabajo de la misión consistente en elaborar recomendaciones que se darán a conocer al país y a la institucionalidad del país, de modo que puedan transformarse en políticas de CTeI para el futuro cercano, mediano y largo plazo:

Al encuentro asistió una muestra de las empresas que hacen innovación importante en Colombia y que solo representa el 0,2 % de las micro-, pequeñas, medianas y grandes empresas del país. Así, el análisis que sigue es el resultado de lo que se vive en esta muestra del sector empresarial colombiano.

De las universidades participantes en el encuentro, se evidenció que solo dos de ellas tienen relaciones vigentes y cercanas con las empresas del país donde se está haciendo generación de productos innovadores, mejorando el entorno de trabajo colaborativo entre Universidad y empresa.

A su vez, fue evidente que los tres focos de la Misión de Sabios 2019, participantes en el encuentro, están muy comprometidos con la construcción de vías que le den fluidez a la alianza entre la academia y buena parte del sector productivo del país.

Puntos básicos comunes

No puede haber ciencia aplicada si previamente no existe ciencia básica. La ciencia básica es el punto inicial del conocimiento científico. Una vez generado este conocimiento es transferido y convertido en desarrollos tecnológicos que benefician a la sociedad y a otros seres vivientes del planeta.

El desarrollo económico del país está en buena parte jalonado por el sector empresarial, el cual necesita ser nutrido por la ciencia, la tecnología y la innovación para que pueda competir con productos innovadores y empleo calificado en los mercados mundiales. No es suficiente estar en la frontera del nuevo conocimiento y de la innovación, por los riesgos que conlleva un mundo tan cambiante; es muy importante tener las herramientas y la decisión para llegar a propuestas y productos disruptivos.

El país necesita avanzar en su desarrollo y para ello sus empresas (micro, pequeña y grandes) deben generar productos y servicios innovadores.

Cuando una empresa utiliza descubrimientos innovadores para generar nuevos productos y servicios, se crean nuevas demandas en el mercado que deberían generar ganancias, ojalá sostenibles en el tiempo. Aquí es donde la investigación básica está llamada a hacer grandes contribuciones en la cadena productiva y en el desarrollo del país.

Según cifras actuales, existen 2 700 000 pequeñas y medianas industrias (pymes) y grandes industrias, pero solo el 0,2 % de ellas es innovador, es decir solo unas 5400 empresas podrían ser competitivas en el mercado mundial, el resto de las empresas necesitan un decidido apoyo del Estado para mejorar sus procesos y productos. Con esta cruda realidad como punto de partida, debemos hacer importantes esfuerzos para diagnosticar, proponer e implementar estrategias que contribuyan a mejorar la competitividad del sector empresarial y del país.

La creación de conocimiento y su transformación en tecnología no debe ser hecha por individuos solitarios, es más eficiente un ambiente de

cooperación entre las instituciones que hacen investigación y los sectores a quienes va dirigido ese conocimiento. Así, es recomendable fortalecer la relación entre las universidades y las empresas. Para ello sería adecuado crear o fortalecer las entidades de enlace ya existentes alrededor de proyectos de generación y uso del conocimiento, que den soporte a la tecnología y a la innovación.

Por otro lado, la baja inversión del Estado en CTeI -0,26 % del PIB en investigación y desarrollo y 0,67 % del PIB para actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI)-, dificulta la labor de los buscadores de nuevo conocimiento o de desarrollos innovadores que puedan brindar apoyos valiosos a las empresas colombianas. Tampoco se aprecia una presencia significativa de los capitales de riesgo privados como facilitadores de los procesos de CTeI.

La estrategia debe consistir en articular la oferta y la demanda del conocimiento. Las universidades, sin embargo, tienen una oferta bastante escasa en materia de conocimiento para los sectores productivos del país y la demanda por parte de las empresas agrícolas, industriales o de servicios se caracteriza por una relativa aversión al cambio e inseguridad frente al nuevo conocimiento (fuente: 2250 encuestas hechas por el DANE). Así, no se trata solo de apoyar a las empresas existentes con subsidios, debemos apoyar con capital de riesgo a las empresas innovadoras que creen nuevos mercados.

Es importante considerar que Colombia está rezagada en la colaboración entre el sector productivo y la academia cuando se le compara con pares internacionales, y cada día que pasa esta relación se deteriora. Según algunas cifras de los indicadores internacionales tomados de Scopus 2018, Colombia muestra anualmente cifras menores al 0,7 % de publicaciones conjuntas Universidad-empresa, cifras extremadamente bajas cuando se comparan con las mostradas por países desarrollados como Estados Unidos, Corea del Sur y Singapur, estos dos últimos países, hacia la década del 70 eran tan pobres como nosotros pero hoy se encuentran como actores relevantes en el desarrollo económico mundial gracias a su inversión en CTeI, entre otras razones por realizar trabajo en equipo Universidad-empresa en temas estratégicos. En el caso de patentes y de acuerdo con la Superintendencia

de Industria y Comercio, Colombia ha avanzado a una cifra de cerca de 200 patentes por año, cifra bajísima (irrisoria) comparada con lo que se hace en países desarrollados. No podemos continuar hablando de innovación si esta no va ligada a una patente, o mejor se hace necesario construir ambientes donde la investigación, la creación de conocimiento y la innovación se transformen en patentes.

Hemos comprobado en este encuentro que mediante un trabajo colaborativo entre Universidad y empresa, junto con grupos de investigación-innovación (con actores mixtos) se logró crear un entorno de mucha confianza, con muy interesantes resultados.

Para estas empresas, innovar se volvió la regla y no un proceso ocasional. Hoy el mundo es global, hace exigencias y plantea retos rigurosos. Hay países que ofrecen ventajas comparativas importantes para sus empresarios y que demandan cambios en las empresas hacia *la innovación* como nueva estrategia de trabajo, de modo que con ella se puedan desarrollar y ofertar negocios disruptivos como fruto del apalancamiento de una relación exitosa entre la Universidad y la empresa.

Existe un grupo de empresas colombianas donde es totalmente normal generar productos nuevos no solo para el país, sino para el mundo, sustentados con patentes de invención los cuales ahora marcan la diferencia porque son competitivos y no los tienen los competidores internacionales. Así, el mensaje positivo desde ellas es: "sí es posible desarrollar novedades para el mundo. ¿Cómo se logra? Definiendo los retos, trabajando y desarrollando trabajo colaborativo, abriendo las puertas, dando el espacio, y teniendo confianza en los grupos de investigación que soportan la relación Universidad-Empresa".

La alianza Universidad-Empresa es un matrimonio exitoso. En el grupo Nutresa, por ejemplo, aproximadamente el 70 % de las ventas de productos con innovación se gestaron en investigaciones, gran número de ellas en asocio con universidades.

¿Qué requiere la empresa de la academia? 1) Que la universidad tenga una mayor visión de industria para llegar a productos tangibles. 2) Como no hay mucho conocimiento mutuo, es importante iniciar un proceso de acercamiento que venza la desconfianza que existe entre las partes. 3) Que

la universidad les facilite a las empresas infraestructura que esta maneja muy bien, por ejemplo los comités de ética.

Universidad debe involucrarse más mediante la investigación aplicada a los problemas y las necesidades concretas que se requieren para dinamizar el desarrollo regional y nacional.

Finalmente, la conclusión de este Encuentro Universidad-Empresa es: la Universidad, la empresa, la Misión de Sabios y el MinCTeI deben comprometerse a trabajar, en forma colaborativa e inmediata, en el desarrollo de procesos, productos y servicios que con el apoyo de la investigación aplicada, el diseño y los procesos de producción innovadores respondan a necesidades sentidas de la humanidad y puedan competir en los mercados globales.

Recomendaciones

El país deberá dedicarse de inmediato a generar los avances en materia de desarrollo económico basados en CTeI para los próximos veinticinco o treinta años. Para ello la Misión de Sabios hace las siguientes recomendaciones:

La academia, la industria, la Misión de Sabios y el MinCTeI deben comprometerse en *un gran pacto nacional por la ciencia*, con propósitos comunes, definiendo políticas y mecanismos de operación y financiación a veinte o treinta años para que Colombia entre en la ruta de desarrollo acelerado que marque el comienzo de la solución a los enormes problemas de inequidad y pobreza que hoy tenemos.

El MinCTeI deberá establecer una política pública de Estado que genere confianza a la Universidad y a las empresas, y que regule jurídicamente de manera efectiva y flexible estas alianzas.

Fomentar la cultura de la innovación en las mipymes para ilustrarlas sobre las ventajas de la CTeI para la sociedad, para las empresas y para la academia.

Crear institutos de investigación en sectores estratégicos que, desde la ciencia básica, impulsen el conocimiento para que inicie el proceso sostenible de innovación en el país. Estos institutos serán también los sitios donde los técnicos, profesionales y científicos encontrarán empleo. Adicionalmente, el MinCTeI y las universidades deberán prestar particular atención a la creación y refuerzo a los ya creados y de otras entidades de

enlace entre la universidad y la industria, para hacer fluida la comunicación y la transferencia del conocimiento científico. Ejemplos de ellas pueden ser institutos de investigación como los nombrados arriba, centros de desarrollo tecnológico, oficinas de transferencia de resultados a la industria (OTRI), centros de productividad, parques de ciencia, tecnología y desarrollo tecnológico, *spin-off*, oficinas de transferencia tecnológica.

Por otro lado, es necesario también crear institutos de investigación sectoriales regionales que hagan investigación por demanda. Estos serán los que analicen las necesidades de investigación de las empresas mipymes, los que hagan la investigación aplicada que demanda el sector productivo del país y los responsables de entregar a las empresas soluciones a sus necesidades para mejorar la calidad de sus productos. Estos institutos pueden recibir estudiantes de las universidades y gente de las empresas que se quieran capacitar en aspectos específicos. Adicionalmente, serán los sitios de trabajo de técnicos, profesionales, magísteres y doctores que se forman hoy en las universidades colombianas y en el exterior. Estos institutos serán una de las formas de regionalizar la CTeI en Colombia, ya que estarían ubicados en las zonas donde tengan la vocación para esos desarrollos, por ejemplo un instituto de energía podría tener una seccional sobre energía eólica y solar en La Guajira o una seccional que trabaje sobre carbón en Boyacá y Antioquia entre otros.

Establecer financiación específica para realizar trabajos colaborativos entre la universidad y la empresa tendientes a generar patentes que respalden la creación de nuevos productos y empleo calificado a nivel nacional e internacional.

Apoyar a las empresas que adopten la innovación como norma de trabajo, bien con algunos subsidios, pero mejor con capital de riesgo.

Examinar y reforzar el bachillerato técnico, generador importante de los estudiantes que van a convertirse en su paso por la educación terciaria en técnicos y tecnólogos.

Asegurarse que el salario de estos jóvenes técnicos y tecnólogos sea equitativo para la importante labor que deberán realizar en las empresas (hoy en día su salario es máximo dos salarios mínimos, qué tristeza).

En caso de que algunas empresas opten por la compra de innovación, se recomienda llegar a las ofertas lo más temprano posible.

Examinar el papel del SENA en la preparación de personal (técnicos y tecnólogos) solo para las empresas que lo han solicitado. También estudiar la calidad de los politécnicos e institutos técnicos y tecnológicos que tiene el país, de modo que se trabaje por su calidad a favor de la tecnología y la innovación que se requiere para el desarrollo del país.

Podría pensarse en universidades tecnológicas, como las hay en Japón, Alemania, Estados Unidos y, en general, en aquellos países con alto grado de desarrollo en CTeI, donde se prepare el capital humano en la ciencia básica que se necesita para generar nuevas tecnologías (industria común), tecnologías convergentes e industria 4.0

Valdría la pena que las regalías asignadas en forma general al sistema de CTeI fueran invertidas en proyectos de investigación-innovación, siguiendo la línea de economía sostenible.

Es también deseable la creación del observatorio de tecnología. De esta forma se podría integrar fácilmente la información correspondiente, y se facilitaría el enlace de recursos financieros, por ejemplo en el MinCTeI el sistema de CTeI es pobre, no alcanzan los recursos para financiar proyectos, en contraste en los OCAD. Hay recursos para CTeI y muchas veces no se sabe bien qué hacer con ellos.

REFERENCIAS

Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (2018). *Desafíos para el 2030: ciencia, tecnología, educación y medio ambiente*. Recuperado de https://www.unicauca.edu.co/versionP/sites/default/files/files/Manifiesto_Ceincia_Desafios.pdf

Agencia de Noticias UN. (2019a). Misión de Sabios 2019 llega a la UNAL Sede Manizales. Recuperado de https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/mision-de-sabios-2019-llega-a-la-unal-sede-manizales.html

Agencia de Noticias UN. (2019b). Misión de Sabios quiere llevar la educación a otro nivel. Recuperado de https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/mision-de-sabios-quiere-llevar-la-educacion-a-otro-nivel.html

Asociación Nacional de Industriales. (s. f.). Recomendaciones de las empresas ANDI para el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Recuperado de http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI_Recomendaciones%20MinCTeI.pdf

Bautista, C. A. (2017). *Una mirada al estado actual de la investigación en productos naturales marinos de Colombia* (Tesis de Maestría en Ciencias Química). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/61204/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20CLAUDIA%20ANDREA%20BAUTISTA%20RODRI%CC%81GUEZ%20MAESTRI%CC%81A%20EN%20QUI%CC%81MICA..pdf

Boley, D. (1998). Hierarchical taxonomies using divise partitioning. Technical Report 98-012, University of Minnesota.

Boley, D., Gini, M., Gross, R., Han, E. H., Karypis, G., Kumar, V., Mobasher, B., Moore, J., & Hastings, K. (1999). Partitioning-based clustering for web document categorization. *Decision Support Systems*, *27*(3), 329-341. https://doi.org/10.1016/S0167-9236(99)00055-X

Centre national de la recherche scientifique. (s. f.). Organigramme (página web). Recuperado de http://www.cnrs.fr/fr/le-cnrs#rubric-11

Chaparro, F. (Julio de 2019). Los Centros de Desarrollo Tecnológico: de la primera Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo a la cuarta revolución industrial (Documento de trabajo interno). Comisión de Ciencia y

Tecnología y Sociedad Innovadora, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Colciencias. (24 de mayo de 1995). Centros Sectoriales de Desarrollo Tecnológico (Documento para discusión). Recuperado de http://repositorio.colciencias.gov.co/bitstream/handle/11146/259/317.%20CENTROS%20SECTORIALES%20DESARROLLO%20TECNOLOGICO%201995.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Colciencias (20 de octubre de 2000). Guia para la gerencia de CDT's. Recuperado de http://repositorio.colciencias.gov.co/bitstream/handle/11146/241/311.%20CDT's%20GUIA%20GERENCIA.pdf?sequence=1
Colciencias (Septiembre de 2007). Documento Colciencias. Subdirección de Innovación y Desarrollo Empresarial.
Colciencias. (2013). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería 2013-2022*. Bogotá: Colciencias. Recuperado de http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/714
Colciencias. (2016). Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo del Sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC 2017-2022. Bogotá: Colciencias. Recuperado de https://minciencias.gov.co/node/1139
Colciencias. (2018a). Plan Estratégico Programa Nacional en Ciencias Básicas. (Documento en construcción). Bogotá: Colciencias.
Colciencias. (2018b). *Libro Verde 2030: Política Nacional de Ciencia e Innovación*. Bogotá: Colciencias. Recuperado de http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/33995
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (19 de marzo de 2004). Creación de Centros de Innovación de Excelencia. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/fo-article-235090.pdf
Consejo Nacional de Política Económica y Social. (1994). Política Nacional de Ciencia y Tecnología (Documento Conpes n.° 2739). Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%C3%B3micos/2739.pdf
Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2011). Política para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad (Documentos Conpes n.° 3697). Recuperado de https://www.cbd.int/doc/measures/abs/post-protocol/msr-abs-co-es.pdf

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (28 de junio de 2000). Política Nacional de Ciencia y Tecnología 2000-2002 (Documento Conpes n.° 3080). Recuperado de https://www.oei.es/historico/salactsi/Conpes.pdf

Consejo Privado de Competitividad. (2007). *Informe Nacional de Competitividad 2007*. Bogotá: Consejo Privado de Competitividad. Recuperado de https://compite.com.co/wp-content/uploads/2017/05/informe2007-2008.pdf

Davi, A., Haughton, D., Nasr, N., Shah, G., Skaletsky, M., & Spack, R. (2005). A review of two text-mining packages: SAS TextMining and WordStat. *The American Statistician, 59*(1), 89-103. https://doi.org/10.1198/000313005X22987

Decisión 391 de 1996. Régimen común sobre acceso a los recursos genéticos. Caracas. Comunidad Andina de Naciones. Recuperado de http://www.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Decision-CAN-391_0.pdf

Decreto 730 de 1997. Por el cual se determina la Autoridad Nacional Competente en materia de acceso a los recursos genéticos. Ministerio de Comercio Exterior de Colombia. Recuperado de https://www.cbd.int/doc/measures/abs/msr-abs-co3-es.pdf

Decreto-Ley 3570 de 2011. Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Congreso de la República de Colombia. *DO* 48 205. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_3570_2011.html

Decreto 1375 de 2013. Por el cual se reglamentan las colecciones biológicas. Congreso de la República de Colombia. *DO* 48 934. Recuperado de http://www.humboldt.org.co/images/pdf/Colecciones%20Biol%C3%B3gicas%20-DECRETO%201375%20DEL%2027%20DE%20JUNIO%20DE%202013%20(2).pdf

Decreto 1376 de 2013. Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial. Congreso de la República de Colombia. *DO* 48 934. Recuperado de http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/JUNIO/27/DECRETO%201376%20DEL%2027%20DE%20JUNIO%20DE%202013.pdf

Decreto 1376 de 27 de junio de 2013. Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Recuperado de http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/JUNIO/27/DECRETO%201376%20DEL%2027%20DE%20JUNIO%20DE%202013.pdf

Decreto 1753 de 2015. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país". Congreso de la República de Colombia. *DO* 49 538. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1753_2015.html

Decreto 293 de 2017. Por el cual se reglamenta el artículo 7 de la Ley 1753 de 2015 en lo relacionado con los Planes y Acuerdos Estratégicos Departamentales en Ciencia, Tecnología e Innovación y se dictan otras disposiciones. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). Recuperado de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/decretopaed-293-02-22-2017.pdf

Decreto 584 de 2017. Por el cual se reglamentan los Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación - Codecti. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). Recuperado de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/decreto-584-2017-codecti.pdf

Decreto 1714 de 2018. Por el cual se confía a la Vicepresidenta de la República unas misiones. Presidencia de la República de Colombia. Recuperado de https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201714%20DEL%2005%20DE%20SEPTIEMBRE%20DE%202018.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica Industria Manufacturera - EDIT VIII 2015-2016. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/edit/presentacion_EDIT_manufacturera_2015_2016.pdf

Díaz, L. G. (2002). *Estadística multivariada: inferencia y métodos*. Bogotá: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

DiploFoundation & American Association for the Advancement of Science. (2019). *Science & Diplomacy: How countries interact with the Boston*

innovation ecosystem. Recuperado de https://www.diplomacy.edu/sites/default/files/Boston_Science_Diplomacy.pdf
DiploFoundation (2018). *The Rise of TechPlomacy in the Bay Area*. Recuperado de https://issuu.com/diplo/docs/techplomacy_bayarea
El Colombiano. (3 de septiembre de 2019). ¿Qué compra la pequeña empresa? Recuperado de https://www.elcolombiano.com/negocios/asi-invierten-las-pequenas-empresas-JG11531998
Escofier, B. & Pagès, J. (1990). *Análisis factoriales y simples: objetivos, métodos e interpretación*. Universidad del País Vasco.
Feinerer, I. (2007). tm: Text Mining Package. R package version 0.3. Recuperado de http://CRAN.R-project.org/package=tm
Feinerer, I., Hornik, K., & Meyer, D. (2008). Text mining infrastructure in R. *Journal of Statistical Software*, *25*(5), 1-54. https//:www.doi.org/10.18637/jss.v025.i05
Fellows, I. (2018). wordcloud: Word Clouds. R package version 0.3. Recuperado de http://CRAN.R-project.org/package=wordcloud
Hearst, M. (1999). Untangling text data mining. En *Proceedings of the 37h Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 3-10). Morristown: Association for Computational Linguistics. Recuperado de https://www.aclweb.org/anthology/P99-1001.pdf
Lebart, L., Pincemin, B., & Poudat, C. (2019). *Analyse des donnes textuelles*. Québec: Presses de L'Université du Québec.
Lebart, L., Piron, M., & Morineau, A. (2006). *Statistique exploratoire multidimensionelle: visualisations et inférences en fouille de données*. París: Dunod.
Lebart, L., Salem, A., & Berry, L. (1998). *Exploring textual data*. Dordrecht: Kluwer.
Ley 29 de 1990. Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias. Congreso de la República de Colombia. Recuperado de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley-29-1990.pdf
Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Congreso de la

República de Colombia. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html
Ley 1286 de 2009. Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones. Congreso de la República de Colombia. Recuperado de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley_1286_2009.pdf
Ley 1923 de 2018. Por la cual se regula lo previsto en el parágrafo 5 del artículo 361 de la Constitución Política relativo a los programas y proyectos de inversión que se financiarán con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías. Congreso de la República de Colombia. Recuperado de https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201923%20DEL%2018%20DE%20JULIO%20DE%202018.pdf
Mazzucato, M. (19 de junio de 2018). Mission thinking: a problem-solving approach to fuel innovation-led growth. *Social Europe*. Recuperado de https://www.socialeurope.eu/mission-thinking-a-problem-solving-approach-to-fuel-innovation-led-growth
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil (s. f.). Estrutura Organizacional (página web). Recuperado de http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/institucional/paginas/Estrutura_Organizacional.html
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos* (PNGIBSE). Bogotá: Instituto Humboldt. Recuperado de http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/documentos/pngibse-espaol-web.pdf
Ministerio de Ciencia e Innovación de España. (s. f.) Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS) (página web). Recuperado de http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.eed4570ef37d2c8fbaa777b9026041a0/?vgnextoid=928d5ef3677c4610VgnVCM1000001d04140aRCRD
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (s. f.). La ciencia en cifras (página web). Recuperado de https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2020).

Colombia hacia una sociedad de conocimiento. Reflexiones y propuestas (volumen 1). Bogotá: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
Mueller, J. P. (2006). ttda: Tools for Textual Data Analysis. R package version 0.1.1. Recuperado de http://www.people.unil.ch/jeanpierre.mueller
Noreña, P. A., González Muñoz, A, Mosquera-Rendón, J., Botero, K., & Cristancho, M. A. (2018). Colombia, an unknown genetic diversity in the era of big data. *BMC Genomics 19* (Suppl. 8): 859. Recuperado de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6288850/
Opinión y Salud. (2019). Institutos públicos de ciencia y tecnología y Misión de Sabios buscan repotenciar el papel de estas entidades. Recuperado de http://www.opinionysalud.com/2019/08/20/institutos-publicos-de-ciencia-y-tecnologia-y-mision-de-sabios-buscan-repotenciar-el-papel-de-estas-entidades/
Organización de las Naciones Unidas. (1992). Agenda / Programa 21. Recuperado de https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm
Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica. Río de Janeiro. Recuperado de https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf
Organización de las Naciones Unidas. (2011). Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al convenio sobre la diversidad biológica. Canadá: Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica. Recuperado de https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-es.pdf
Organización de las Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 [A/RES/70/1]. Recuperado de https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
Pardo, C. E., Campo, P. C. del, & Torres, C. J. (2018). FactoClass: Combination of Factorial Methods and Cluster Analysis. R package version 1.2.7.
Presidencia de la República de Colombia. (1996). *Colombia al filo de la oportunidad. Informe Misión Ciencia, Educación y Desarrollo (Misión de los Sabios)*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.

Quantum Flagship. (2016). *Quantum Manifesto* [PDF]. Recuperado de https://qt.eu/app/uploads/2018/04/93056_Quantum-Manifesto_WEB.pdf
Quintero, V. (21 de agosto de 2019). Misión de Sabios se desarrolla en Manizales. W Radio. Recuperado de https://www.wradio.com.co/noticias/regionales/mision-de-sabios-se-desarrolla-en-manizales/20190821/nota/3943041.aspx
R. (2020). The R Project for Statistical Computing (Página web). Recuperado de https://www.r-project.org/
Resolución 1348 de 2014. Por la cual se establecen las actividades que configuran acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados para la aplicación de la Decisión Andina 391 de 1996 en Colombia y se toman otras determinaciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. *DO* 49 259. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1348_2014.htm
Resolución 1352 de 2017. Por la cual se modifica la Resolución 1348 de 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/Recursos_Gen%C3%A9ticos/Normativa/Resoluci%C3%B3n_1352_de_2017_modifica_la_1348_de_2014.pdf
Resolución 1352 del 11 de julio de 2017. Por la cual se modifica la Resolución 1348 de 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/Recursos_Gen%C3%A9ticos/Normativa/Resoluci%C3%B3n_1352_de_2017_modifica_la_1348_de_2014.pdf
Riedel, M., Kovacs, M., Zoller, P., Mlynek, J., & Calarco, T. (2019). Europe's Quantum Flagship initiative. *Quantum Science and Technology*, *4*(2). Recuperado de https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-9565/ab042d/pdf
Salazar, A. (15 de agosto de 2019). Manizales será sede del Encuentro Nacional de la Misión de Sabios Colombia 2019. Universidad de Caldas. Recuperado de https://www.ucaldas.edu.co/portal/manizales-sera-sede-del-encuentro-nacional-de-la-mision-de-sabios-colombia-2019/
Sánchez, L. (21 de agosto de 2019). La Misión de Sabios Internacional se acerca a los jóvenes en Manizales. *La Patria*. Recuperado de https://www.

lapatria.com/educacion/la-mision-de-sabios-internacional-se-acerca-los-jovenes-en-manizales-442775
Sebastiani, F. (2002). Machine learning in automated text categorization. ACM *Computing Surveys*, *34*(1), 1-47. Recuperado de http://nmis.isti.cnr.it/sebastiani/Publications/ACMCS02.pdf
Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. (s. f.). Biodiversidad en cifras. [Página web]. Recuperado de www.sibcolombia.net
The Royal Society & American Association for the Advancement of Science (2010). *New Frontiers in Science Diplomacy. Navigating the changing balance of power*. Londres: The Royal Society Science Policy Centre. Recuperado de https://royalsociety.org/~/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2010/4294969468.pdf
United States Department of Energy. (s. f.). National Laboratories (página web). Recuperado de https://www.energy.gov/national-laboratories
Velásquez, J. M. (11 de octubre de 2019). El empresario colombiano está presente, no ausente. *El Tiempo*. Recuperado de https://www.eltiempo.com/economia/empresas/empresario-colombiano-si-esta-presente-y-no-ausente-afirma-presidente-del-grupo-argos-421544
Weiss, S., Indurkhya, N., Zhang, T., & Damerau, F. (2004). *Text mining: predictive methods for analyzing unstructured information*. Nueva York: Springer.
Zhao, Y. (2013). *R and data mining: examples and case studies*. Londres: Academic Press.
Zhao, Y., Karypis, G., & Fayyad, U. (2005). Hierarchical Clustering Algorithms for Document Datasets. *Data Mining and Knowledge Discovery*, *10*, 141-168. https://doi.org/10.1007/s10618-005-0361-3

LISTA DE SIGLAS

Sigla o acrónimo	Significado	País
ACAC	Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia	Colombia
ACCEFYN	Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales	Colombia
AAAS	American Association for the Advancement of Science	Estados Unidos
Acopi	Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas	Colombia
ACM	Análisis de correspondencias múltiples	
ACTI	Actividades de ciencia, tecnología e innovación	
ADN	Ácido desoxirribonucleico	
Agrosavia	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (antes Corpoica)	Colombia
ANDI	Asociación Nacional de Industriales	Colombia
ARN	Ácido ribonucleico	
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	
BOLD	Barcode of Life Data	
CAN	Comunidad Andina de Naciones	
CDB	Convenio de Diversidad Biológica	
CDTS	Centros de Desarrollo Tecnológico	Colombia
Cenis	Centros Nacionales para Investigaciones Sectoriales	Colombia
COVID-19	Coronavirus disease ('Enfermedad del coronavirus')	
CGT	Centros de Gestión Tecnológica	
CIB	Corporación para Investigaciones Biológicas	Colombia
Cideim	Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas	Colombia
CIF	Centro Internacional de Física	Colombia
Cites	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres ('Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora')	
CNCT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	Colombia
CNRS	Centre national de la recherche scientifique	Francia
Codecti	Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación	Colombia
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (hoy MinCTeI)	Colombia
Conpes	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Colombia
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (hoy Agrosavia)	Colombia
CRP	Centros Regionales de Productividad	Colombia
CTeI	Ciencia, tecnología e innovación	
CVLAC	Curriculum Vitae de Latinoamérica y el Caribe	Colombia
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	Colombia
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales	Colombia

Sigla o acrónimo	Significado	País
ACAC	Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia	Colombia
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (‘Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria’)	Brasil
FCTeI	Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación	Colombia
Fedesarrollo	Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo	Colombia
FET	Future and Emerging Technologies (‘Tecnologías futuras y emergentes’)	
GPS	Global Positioning System (‘sistema de posicionamiento global‘)	
IAN	Instituto de Asuntos Nucleares (después INEA)	Colombia
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario	Colombia
ICDK	Innovation Centre Denmark	Dinamarca
ICIPC	Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho	Colombia
ICTS	Infraestructura Científica y Técnica Singular	España
Ideam	Instituto de Investigaciones Meteorológicas y del Medio Ambiente	Colombia
IFI	Instituto de Fomento Industrial	Colombia
IIT	Instituto de Investigaciones Tecnológicas	Colombia
INC	Instituto Nacional de Cancerología	Colombia
INEA	Instituto Nacional de Energías Alternativas (antes IAN)	Colombia
Innovar	Institutos de Innovación Regional	Colombia
Invima	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos	Colombia
INS	Instituto Nacional de Salud	Colombia
Invemar	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras	Colombia
IRM	Imágenes por resonancia magnética (magnetic resonance imaging)	
ISRO	Indian Space Research Organisation (‘Agencia India del Espacio’)	India
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Colombia
MCIE	Ministerio de Ciencia e Innovación de España	España
MCTICB	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil	Brasil
MEN	Ministerio de Educación Nacional	Colombia
MGA	Metodología general ajustada	
MinCTeI	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (antes Colciencias)	Colombia
Mipymes	Micro, pequeñas y medianas empresas	
NASA	National Aeronautics and Space Administration (‘Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio’)	Estados Unidos
NCBI	National Center for Biotechnology Information	Estados Unidos
OCAD	Órgano Colegiado de Administración y Decisión	Colombia
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos	
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible	
ONG	Organización/es no gubernamental/es	

Sigla o acrónimo	Significado	País
ACAC	Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia	Colombia
ONU	Organización de las Naciones Unidas	
OTRI	Oficinas de transferencia de resultados a la industria	Colombia
PAED	Planes y Acuerdos Estratégicos Departamentales	Colombia
PIB	Producto interno bruto	
PISA	Programme for International Student Assessment ('Programa para la Evaluación Internacional de Alumno')	
PND	Plan Nacional de Desarrollo	Colombia
PNGIBSE	Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos	Colombia
QIS	Quantum information science ('Ciencia de la información cuántica')	
RT-PCR	Reverse transcription polymerase chain reaction ('Reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa')	
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje	Colombia
SGR	Sistema General de Regalías	Colombia
SIB	Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia	Colombia
SIN	Science and Innovation Network	Reino Unido
SNCTI	Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación	Colombia
SNIES	Sistema Nacional de Información en la Educación Superior	Colombia
STEAM	Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics ('ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas')	
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics ('ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas')	
Swissnex	Swiss Global Network for Education, Research, and Innovation	Suiza
TRS	The Royal Society	Reino Unido
UE	Unión Europea	
USDE	United States Department of Energy	Estados Unidos
ZOPP	Planificación de proyectos orientada a objetivos (*Zielorientierte Projektplanung*)	

AGRADECIMIENTOS

El Foco de Ciencias Básicas y del Espacio desea expresar sus agradecimientos a las personas y de entidades que hicieron posible plantear las recomendaciones y organizar el trabajo presentado en este documento. Agradecemos a la Universidad Nacional de Colombia, en cabeza de su rectora, la profesora Dolly Montoya, a la Decanatura de la Facultad de Ciencias y a la División de Investigación y Extensión de la Sede Bogotá, que apoyaron en todo momento el desarrollo y la planeación de las diferentes actividades llevadas a cabo por los miembros del Foco; al profesor Camilo Younes Velosa, vicerrector de la Sede Manizales, y a los profesores Néstor Darío Duque, Jeannette del Carmen Zambrano Nájera, Sandra Ximena Carvajal, Carlos Daniel Acosta y César Arango Lemoine, quienes contribuyeron en la organización del Foro de Ciencias Básicas y del Espacio llevado a cabo en Manizales, junto con un entusiasta grupo de estudiantes voluntarios.
A Alejandro Ceballos, rector de la Universidad de Caldas y a la Universidad de Caldas por su apoyo en la organización de parte del Foro de Ciencias Básicas y del Espacio. A Liliana Pulido de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, Sede Bogotá, y a todo el personal de la facultad por su permanente apoyo.
Agradecemos a la señora vicepresidenta de la República, Dra. Marta Lucía Ramírez, al Dr. Humberto Rosania y a todo el personal de apoyo de la Vicepresidencia de la Republica; al Ministerio de Educación Nacional, a la ministra María Victoria Angulo y su viceministro Luis Fernando Pérez; a los entonces director de Colciencias[37], Dr. Diego Hernández, su subdirectora, Dra. Sonia Monroy y a personas como Adriana Paola Serrano, así como a todas las personas que dentro de la institución apoyaron incondicionalmente el desarrollo de este trabajo. A Cristina Garmendia, Diego Moñux, María José Ospina de SILO, España, por sus orientaciones y compromiso a lo largo del desarrollo del trabajo de la Misión.

También agradecemos al Dr. Enrique Forero, presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN) y a los participantes en el Foro Permanente de Apoyo a la Misión de Sabios 2019. Al Dr. Obdulio Velásquez, rector de la Universidad de La Sabana a Hilda Arango de Ortega de la Universidad de la Sabana y a todos los participantes en el Conversatorio Creando Confianza Universidad-Empresa. Agradecemos especialmente al profesor Fanor Mondragón Pérez. Agradecemos a Adriana Ocampo de la NASA por sus aportes iniciales. A la Dra. Jeanette Epps, de la NASA; a Abigail Dressel, Diana Patiño y Malore Brown de la Embajada de los Estados Unidos en Colombia; a Robert Quiroga y Giovanni Corredor de la Fuerza Aérea.
Agradecemos igualmente a todos los participantes en nuestros foros y reuniones, a quienes respondieron nuestras encuestas, y a los miembros de Gobiernos departamentales y locales que discutieron con los comisionados del foco.
Por otro lado, Antonio Julio Copete Villa, miembro del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, desea extender sus agradecimientos a las personas e instituciones que ofrecieron su ayuda en las actividades realizadas. Sobre diplomacia científica y ciencias del espacio agradecemos a: Raúl Gutiérrez (Fuerza Aérea Colombiana), Santiago Vargas (Universidad Nacional de Colombia), Alberto Quijano Vodniza (Universidad de Nariño), Planetario de Medellín, Cristian Góez (Olimpiadas Colombianas de Astronomía), Planetario de Bogotá, Luis Fernando Gaviria y Edwin Andrés Quintero (Universidad Tecnológica de Pereira), Jonathan Grindlay y Branden Allen (Universidad de Harvard), Iván Mantilla (MinTIC), Pilar Zamora (Agencia Espacial de Colombia), Charlie Ruth Castro, David Luna, Simón Büchler, Eduardo Enríquez y Liz Lozano (Consulado de Colombia en Boston), Lawrence Susskind (MIT), Paul Berkman (Universidad de

37 A partir de 2020 Colciencias pasó a ser el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Tufts), Jonas Brunschwig, Consulado de Suiza en Boston (Swissnex Boston), Consulado de México en Boston, María Eugenia Mejía, Oficina de Internacionalización Colciencias. Sobre regionalización y equidad agradecemos a Ángela Barrera, Tania Arboleda, Milton Muñoz, Andrés Fernández, Adolfo Alarcón, Gestión Territorial Colciencias, Ramiro Guerrero, Francisco Piedrahita, Universidad Icesi (Cali), Andrés Jaramillo Botero (Pontificia Universidad Javeriana, Cali), Antanas Jurkšaitis, José Luis Diago y Héctor Villada (Universidad del Cauca), Juan Pablo Herrera, José Darío Perea, Julián Herrera, Jaime Cantera, Álvaro Perea (Universidad del Valle), Juan Felipe Vallejo (Comité Intergremial y Empresarial del Valle), ProPacífico, Pilar Rodríguez, Carlos Regalado, Federico Ardila, Alejandro Roldán, Ruta N (Medellín), Sapiencia (Medellín), Agostinho Almeida (Centro para la Cuarta Revolución Industrial), David Escobar, Isabel Agudelo, Comfama (Antioquia), Agustín Peláez (Ubidots), Universidad Eafit (Medellín), Elsi Angulo, Héctor Antonio Angulo, Fundación Despertar (Tumaco, Nariño), Agrosavia Centro de Investigación El Mira (Tumaco, Nariño), Johanna Olaya, Casa de la Memoria del Pacífico Nariñense, Barrio Familias en Acción (Tumaco, Nariño), Jonathan Pérez, Tecnoacademia SENA Túquerres (Nariño), Universidad de Nariño Túquerres, Harold Bonilla, Ángela Caicedo, Arturo Obando, Secretaría TIC Gobernación de Nariño, Cámara de Comercio de Pasto, Codecti Nariño, Mauricio Rodríguez, Arbey Guevara, Nariño Joven, Icetex, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Manuel Guillermo González, Uniminuto Bogotá, Parque Científico de Innovación Social Uniminuto, Iván Agudelo, Juan Luis Castro, Álvaro Castro, Adriana Gutiérrez, MIT-Harvard Club de Colombia, Alberto Ospina, Eduardo Aldana, Jenny Manjarrés, Innovar Purificación (Tolima), Gobernación del Tolima, Universidad Nacional de Colombia Sede San Andrés, Harrington McNish, Tulia Copete, Marcel Quintero, Gobernación de Norte de Santander, Cámara de Comercio de Cúcuta, Universidad de Pamplona Villa del Rosario (Norte de Santander), Universidad Simón Bolívar Cúcuta, Enmanuelli Caicedo, Juan Pablo Hernández, Universidad del Meta, David Pulido, Johan Camilo Rodríguez, Sennova Guaviare, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi San José del Guaviare y Bogotá, Gobernación de Caldas, Colegio de Cristo (Manizales, Caldas), Juan Eduardo Zuluaga (ANDI Manizales), Cámara de Comercio de Manizales, Valentín Sierra, Mauricio Lizcano, Gabriel Jaime Vallejo, Valeria Ángel, Jesús Saldarriaga, Comisión Regional de Competitividad de Risaralda, SENA Risaralda, Codecti Risaralda, Gobernación de Risaralda, Universidad Tecnológica de Pereira, Red de Nodos Risaralda, Andrés Felipe Giraldo, Catalina Hoyos, Liliana Restrepo, Alfredo Hoyos, Juan Sebastián Echeverry, Fundación Frisby, Luis Gilberto Murillo, Teófilo Cuesta, Alex Mauricio Jiménez, Ivón Clavel, Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó), Víctor Copete, Carlos Tirso Murillo, Nilse Perea, I. E. Nuestra Señora de la Pobreza (Tadó, Chocó), Diócesis de Istmina (Chocó), Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IIAP (Quibdó, Chocó), Gloria Prado, Universidad Tecnológica del Chocó UTCH, Escuela de Robótica del Chocó, Gina Villa, Antonio Copete Murillo, Kandya Obezo, Miguel Obezo, Casa de Bahareque Junchétour de San Basilio de Palenque (Mahates, Bolívar), John Pedrozo Pupo, Manuel Villa, I. E. Bienvenido Rodríguez (Guamal, Magdalena), Luis Alfredo Domínguez, Casa de la Cultura de Mompox (Bolívar), Alma Rosa Támara, Sergio Daza, Gelca Gutiérrez, Institución Universitaria del Área Andina Valledupar, Agrosavia Centro de Investigación Motilonia (Cesar), Universidad Nacional Sede La Paz (Cesar), Soledad Zabaleta, Universidad de La Guajira Sede Villanueva, Víctor Pinedo, Sulmira Medina, Universidad de La Guajira Sede Riohacha, Codecti Guajira, Universidad del Magdalena, Joaquín Viloria, Banco de la Republica Sede Santa Marta, Joachim Hahn, María Angélica Díaz Granados, Universidad del Norte, Maggy Ardila Villa, Corporación Universitaria Empresarial de Salamanca CUES Barranquilla, Club Rotario Barranquilla Norte, María Virginia Irisarri, Colegio La Nueva Esperanza (Turbaco, Bolívar), Universidad de Cartagena, Institución Etnoeducativa Antonia Santos (Cartagena), Gonzalo Ordóñez, Mauricio Tovar, Harvard Colombian Student Society.

AUTORAS Y AUTORES

Ana María Rey Ayala

Obtuvo su licenciatura en Física en 1999 de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia. Continuó sus estudios de posgrado en la Universidad de Maryland, College Park, Estados Unidos, donde recibió su título de doctorado en Física en 2004. Luego se unió como becaria posdoctoral, entre 2005 y 2008, al Institute for Theoretical Atomic, Molecular, and Optical Physics (Itamp) en el Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. En 2008 se unió al Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA), al National Institute of Standards and Technology (NIST) y a la University of Colorado Boulder. Actualmente ocupa la posición de Fellow de las JILA y NIST y es profesora adjunta del Departamento de Física de la University of Colorado Boulder.

Su investigación se centra en cómo controlar y manipular átomos ultrafríos, moléculas e iones atrapados para usar como simuladores cuánticos de materiales de estado sólido, y para información cuántica y mediciones de precisión. El reconocimiento de Ana María Rey a su trabajo incluye, el Premio de Tesis de la Division of Atomic, Molecular and Optical Physics -Damop (2005), el Premio a los Científicos más prometedores de Great Minds in STEM (2013), una beca de la Fundación MacArthur (2013), el Premio presidencial de Carrera temprana para científicos e ingenieros (2013), el Premio Maria Goeppert Mayer de la American Physical Society (2014), y los Premios Nacionales Blavatnik para Jóvenes Científicos (2019). También es miembro de la American Physical Society.

Antonio Julio Copete Villa

Es doctor en Física de la Harvard University, Estados Unidos, y Bachelor of Science en Física del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Es investigador en astrofísica de altas energías del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Actualmente es director de Capacidades y Divulgación en el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia.

Camilo Younes Velosa

Es ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y abogado de la Universidad de Manizales; Magíster en Ingeniería Eléctrica de la UNAL y Magíster en Regulación minero-energética de la Universidad Externado; Doctor en Ingeniería de la UNAL y Posdoctor en Regulación de sistemas eléctricos de potencia en USA (Arkansas University). Profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia. Fue decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y, actualmente, vicerrector de la Sede Manizales de la Universidad Nacional de Colombia.

Carmenza Duque Beltrán

Es química de la Universidad Nacional de Colombia, con estudios de especialización en Química Analítica Instrumental en 1977 y con doctorado en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Tokio, Japón, en 1980. Actualmente es profesora emérita de la Universidad Nacional de Colombia e investigadora emérita del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. En los últimos cinco años ha ocupado cargos como la dirección ejecutiva de la Corporación Centro de Excelencia en

Ciencias Marinas en Colombia y la vicepresidencia de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha dedicado su vida a la enseñanza de la química y a la investigación científica en química de productos naturales en frutas y organismos marinos en la Universidad Nacional de Colombia. Ha formado innumerables estudiantes de pregrado, maestría y doctorado, y es pionera y gestora de dos de los grupos de investigación en productos naturales con alto potencial de aprovechamiento en bioeconomía que actualmente funcionan en Colombia. Tiene alrededor de 150 publicaciones científicas y ha sido merecedora de un sinnúmero de premios y reconocimientos a sus trabajos de investigación.

Diego Alejandro Torres Galindo

Doctor en Física Nuclear de la Universidad Nacional de Colombia, con experiencia posdoctoral de las universidades de West of Scotland, UK, y Rutgers, USA. Ocupó el cargo de jefe de Extensión de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Fue el secretario técnico de la Misión Internacional de Sabios 2019.

Fanor Mondragón Pérez

Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Hokkaido, Japón. Es profesor emérito de la Universidad de Antioquia e investigador emérito del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Es miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

Hilda Arango

Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín, Colombia), magíster en Economía y Finanzas de la Universidad de Kansas (Estados Unidos) y formación directiva de la Escuela de Negocios INALDE (Bogotá, Colombia).

Con una experiencia de más de 17 años en el sector financiero, ha ocupado cargos de alta dirección y pertenecido a varias juntas directivas de empresas del sector financiero, productivo y comercial. Ha estado vinculada desde hace 16 años a la Universidad de La Sabana, desempeñando cargos como decana de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, y asesora de la Rectoría.

Jairo Alexis Rodríguez López

Pregrado, magíster y doctorado en Física de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia y profesor asociado al Departamento de Física. Es Investigador senior y sus áreas de interés son la divulgación científica, la enseñanza de la física y la física de altas energías. Dentro de sus reconocimientos se menciona la Beca de doctorado otorgada por el Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación de Colciencias en 1995 y ser parte del Grupo de Excelencia del Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación de Colciencias en 1998.

Leonardo Trujillo

Profesor asociado del Departamento de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia. PhD en Social Statistics de la Universidad de Southampton, Inglaterra. Realizó sus estudios de pregrado y maestría en Estadística en la Universidad Nacional de Colombia.

Liz Polanía

Estadística de la Universidad Nacional de Colombia.

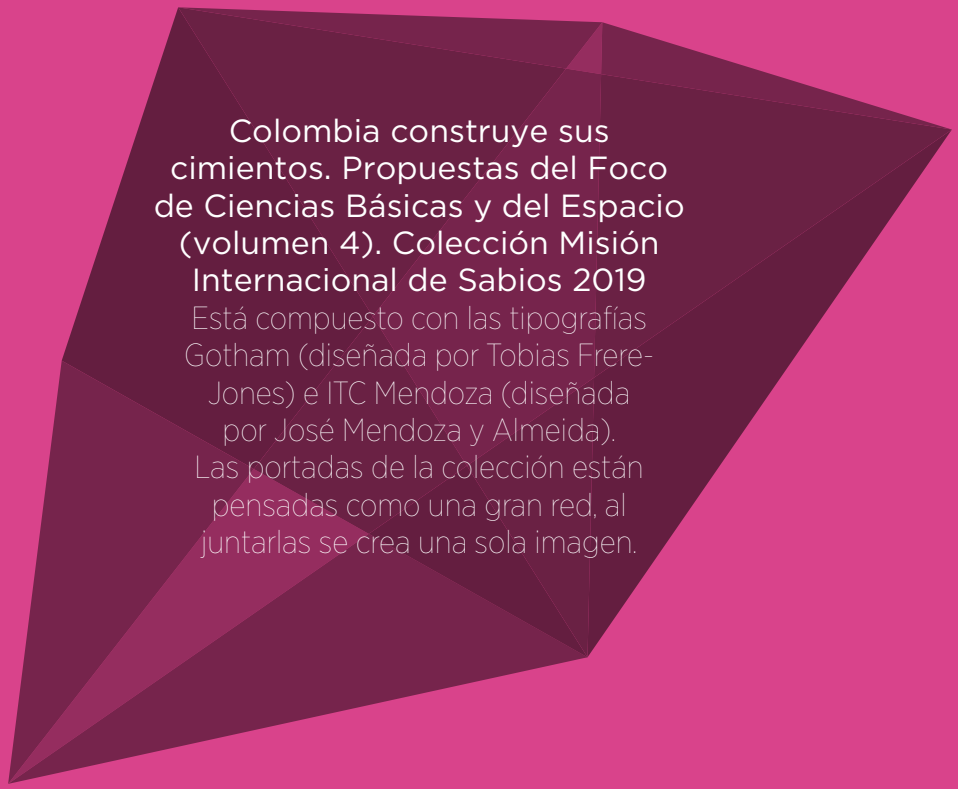
Moisés Wasserman Lerner

Es químico de la Universidad Nacional de Colombia, doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel, y posdoctoral fellow en el Departamento de Microbiología de State University of New York en Stony Brook, Estados Unidos. Fue profesor e investigador científico durante 35 años en bioquímica y biología

molecular de parásitos. Es profesor titular y emérito de la Universidad Nacional de Colombia, investigador emérito del Instituto Nacional de Salud y de Colciencias. Es miembro de número y expresidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Además, es miembro de la Academia Latinoamericana de Ciencias. Fue director general del Instituto Nacional de Salud, decano de la Facultad de Ciencias y rector de la Universidad Nacional de Colombia. Durante sus años de actividad en la ciencia colombiana fue múltiples veces miembro de consejos de programa en Colciencias y también miembro del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ha participado en varias juntas directivas de institutos y centros de investigación. Actualmente es miembro de las juntas del Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (Cideim) en Cali, de la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB) en Medellín y de la Fundación Shaio en Bogotá. Ha publicado más de 120 artículos científicos, 3 libros y varios capítulos, y más de 200 columnas en la prensa amplia sobre temas de ciencia y sociedad. Ha sido honrado con el Premio Nacional de Ciencias Alejandro Ángel Escobar, con el premio a Investigador Sobresaliente y con el de Vida y Obra de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), con doctorado honoris causa de la Universidad de Antioquia, con la medalla al Mérito Investigativo de la Universidad Nacional de Colombia, con la medalla Samper Martínez, y con el premio Simón Bolívar al periodismo (categoría Análisis en prensa). Desde hace ocho años es columnista del diario El Tiempo.

Serge Haroche

Fue galardonado con el Premio Nobel de Física 2012 junto con David J. Wineland por su trabajo en "Métodos experimentales innovadores que permiten medir y manipular sistemas cuánticos individuales". Entre 2001 y 2015, fue profesor en el Collège de France y ocupó la cátedra de Física Cuántica. Ahora es profesor emérito en la misma institución. Trabaja principalmente en física atómica y óptica cuántica. Es conocido principalmente por probar la decoherencia cuántica mediante observación experimental, mientras trabajaba con colegas de la École normale supérieure en París en 1996. Después de una disertación de doctorado sobre átomos vestidos bajo la supervisión de Claude Cohen-Tannoudji, de 1967 a 1971, desarrolló nuevos métodos para espectroscopía láser, basada en el estudio de latidos cuánticos y superradiancia. Luego pasó a los átomos de Rydberg, estados atómicos gigantes particularmente sensibles a las microondas, lo que los hace muy adecuados para estudiar las interacciones entre la luz y la materia. Mostró que tales átomos, acoplados a una cavidad superconductora que contiene algunos fotones, son adecuados para probar la decoherencia cuántica y para la realización de operaciones de lógica cuántica necesarias para el tratamiento de la información cuántica.



Colombia construye sus cimientos. Propuestas del Foco de Ciencias Básicas y del Espacio (volumen 4). Colección Misión Internacional de Sabios 2019

Está compuesto con las tipografías Gotham (diseñada por Tobias Frere-Jones) e ITC Mendoza (diseñada por José Mendoza y Almeida).
Las portadas de la colección están pensadas como una gran red, al juntarlas se crea una sola imagen.

La colección Colombia hacia una sociedad del conocimiento reúne las contribuciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 sobre Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación, convocada por el presidente de la República.

Este primer volumen corresponde a las contribuciones realizadas por el Foco de Ciencias Básicas y del Espacio, cuyas recomendaciones sobre educación en todos los niveles buscan el desarrollo de una verdadera política de ciencia, tecnología e innovación para la investigación orientada por la curiosidad, así como fortalecer los procesos de transferencia de conocimiento que den beneficios directos a la sociedad.

9 789588 290980