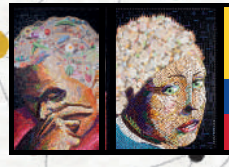
COLOMBIA Y LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Propuestas del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0

Volumen 9

El futuro es de todos
Gobierno de Colombia



MISIÓN DE SABIOS
COLOMBIA - 2019

COLOMBIA Y LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Propuestas del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0

Tomo 9

© Vicepresidencia de la República de Colombia
© Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
© Elías D. Niño-Ruiz, Jean Paul Allain, José Alejandro Montoya, Juan Luis Mejía Arango, Markus Eisenhauer, María del Pilar Noriega E., Mauricio Arroyave Franco, Mónica Álvarez-Láinez, Nora Cadavid Giraldo, Olga L. Quintero-Montoya, Orlando Ayala, Raimundo Abello, Tim Osswald

Primera edición, 2020

ISBN Impreso: 978-958-5135-10-9
ISBN digital: 978-958-5135-11-6
DOI: https://doi.org/10.17230/9789585135116vdyc

Colección: Misión Internacional de Sabios 2019

Título del volumen 9: Colombia y la nueva revolución industrial

Preparación editorial
Universidad EAFIT
Carrera 49 No. 7 sur - 50
Tel.: 261 95 23, Medellín
e-mail: publicaciones@eafit.edu.co

Universidad del Norte
Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación
Km. 5 Vía Puerto Colombia, Área Metropolitana de Barranquilla
Tel.: 3509420
e-mail: dip@uninorte.edu.co

Corrección de textos y coordinación editorial: Cristian Suárez-Giraldo y Óscar Caicedo Alarcón

Diseño de la colección y cubierta: leonardofernandezsuarez.com

Diagramación: Ana Milena Gómez Correa

Medellín, Colombia, 2020

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

_____
Colombia y la nueva revolución industrial / Elías D. Niño-Ruiz...[et al]. – Medellín : Colombia. Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2020
175 p. -- (Misión Internacional de Sabios 2019).

ISBN: 978-958-5135-10-9 ; 978-958-5135-11-6

1. Educación – Colombia. 2. Educación y desarrollo – Colombia. 3. Desarrollo científico y tecnológico – Colombia. I. Niño-Ruiz, Elias D. II. Noriega E., María del Pilar, pról. III. Mejía Arango, Juan Luis, pról. IV. Abello Llanos, Raimundo, pról. V. Tít. VI. Serie

370.9861 cd 23 ed.
C718
Universidad Eafit- Centro Cultural Biblioteca Luis Echavarría Villegas
_____

COLOMBIA Y LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Tomo 9

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

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, coordinador
Angela Wilkinson (Reino Unido)
Eduardo Posada
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, coordinador
Weildler Antonio Guerra
Jorge Reynolds
Juan Armando Sánchez
Sabrina Speich (Francia)

Tecnologías Convergentes Nano, Info y Cogno Industrias 4.0
María del Pilar Noriega, 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)

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas y las organizaciones que apoyaron el trabajo de la Misión y es imposible mencionarlas a todas. No obstante, los miembros de los ocho focos temáticos de la Misión Internacional de Sabios 2019, sus equipos de apoyo y sus relatores deseamos expresar nuestros agradecimientos especiales a las siguientes personas y a las organizaciones a las que están vinculadas, por su apoyo generoso en el cumplimiento de nuestra misión.

Agradecimientos generales

Marta Lucía Ramírez, Vicepresidente de la República; María Victoria Angulo, Ministra de Educación Nacional; Cristina Garmendia y equipo de Science & Innovation Link Office (SILO); Diego Hernández, Director de Colciencias; Sonia Monroy, Subdirectora de Colciencias; Adriana Paola Serrano; Directores de Programas y Asesores de Colciencias; Humberto Rosanía y Freddy Castro, Vicepresidencia de la República.

Universidad del Rosario, Universidad de los Andes, Universidad Nacional de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Industrial de Santander, Universidad del Norte, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad del Valle, Universidad de Antioquia, Universidad EAFIT.

Ernesto Ardila (traductor), Angélica Olaya y Sonia Cárdenas (correctoras de estilo).

Agradecimientos del Foco de Bioeconomía, Biotecnología y Medio Ambiente (BBMA)

Fernando Gaviria (Rector de la Universidad Tecnológica de Pereira) y Martha Marulanda (Vicerrectora de la Universidad Tecnológica de Pereira); Luz Marina Mantilla (Directora del Instituto SINCHI) y María Soledad Hernández (Sostenibilidad e intervención Instituto SINCHI); Jorge Mario Díaz (Director de Agrosavia) y Juan Diego Palacios (Director del centro Tibaitatá Agrosavia); Ivan Montenegro; Pablo Navas (Exrector de la Universidad de los Andes), Alejandro Gaviria (Rector de la Universidad de los Andes), Carlos Montenegro y Mirtza Arroyo (Universidad de los Andes); Clara Leticia Serrano (Asorinoquía); Wilmar Camilo Fonseca González, Laura Vanesa Rodríguez Arcila, Catalina María Bernal Murcia, Laura Bibiana Zuluaga Pineda, Lina María Rubiano Arias, Edgar Francisco Otálora Bohórquez (Semillero de investigación Universidad de los Andes); Arturo Luna (Gestor del Programa de Biotecnología de Colciencias, Gerente de Colombia-Bio); Luis Miguel Renjifo (Vicerrector de Investigación, Pontificia Universidad Javeriana).

Agradecimientos del Foco Ciencias Básicas y del Espacio (CBE)

Enrique Forero, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN) y participantes en el foro permanente de apoyo a la Misión; Dolly Montoya, Rectora de la Universidad Nacional de Colombia; Obdulio Velásquez, Rector de la Universidad de La Sabana y participantes en el foro Industria-Universidad; Fanor Mondragón, ACCEFYN; Camilo Yunes, Vicerrector Sede Manizales, Universidad Nacional de Colombia; profesores y estudiantes voluntarios que contribuyeron en la Organización del Foro de Ciencias Básicas y del Espacio. Todos los participantes en nuestros foros y reuniones, quienes respondieron nuestras encuestas, y los miembros de gobiernos departamentales y locales que discutieron con los comisionados del foco.

Agradecimientos del Foco Ciencias Sociales y Desarrollo Humano con Equidad (CSDHE)

Universidad del Rosario y Escuela de Ciencias Humanas (Universidad del Rosario); Universidad de los Andes; Alejandro Acosta (CINDE); José Luis Villaveces; Luis Enrique Orozco; Carlos Eduardo Vasco; Eduardo Aldana; Fernando Chaparro; Hernán Jaramillo Salazar; John Sudarsky; María Piedad Villaveces; Margarita Peña; Germán Puerta; Andrés Casas; Siembra Colombia; Alberto Echeverry; Natalia Duque; Catalina Martínez; Juliana Ordoñez; Diego Montoya; Luisa Fernanda Urrea; María Camila Díaz Granados; María Villaveces; Beethoven Herrera; Rubén Darío Utria; Enrique Forero; Fanor Mondragón; Imelda Restrepo y su equipo asesor (ANDI); Comisiones Académica y Gestora del Plan Nacional Decenal de Educación; Jairo Giraldo (Buinaima); Ingrid Rueda; Yadira Casas; Liliana Castro (Colciencias); Marieta Quintero (Universidad Distrital); Oscar Saldarriaga (Universidad Javeriana); Jaime Saldarriaga (Universidad de Antioquia); Claudia García (Universidad Libre de Pereira); María Camila Ospina, Héctor Fabio Ospina, Julián Loaiza y Daniela León (Centro de Estudios Avanzados en Niñez y Juventud del Cinde y la Universidad de Manizales); Andrés Mauricio Mendoza (Cifras y Conceptos); Jorge Iván González (Universidad Nacional); Jorge Iván Jurado, María Piedad Marín, Alejandro Barrera, Edisson Castro, Alejandro Cardona, Ana María Hincapié, Claudia Munévar, Eliana Gallego, Carlos Urrego y Mónica Arango (Universidad de Manizales); Gabriel Vélez (Universidad de Antioquia); profesores y estudiantes del Doctorado en Ciencias Sociales Niñez y Juventud del Cinde y la Universidad de Manizales; directores del Doctorado en Educación a nivel nacional; profesores de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional (sede Bogotá); Enrique Chaux; Ana María Velázquez; Arturo Harker; Andrés Moya; Oscar Sánchez; María Emma Wills; Alexander Ruiz; Educapaz; Centro Nacional de Memoria Histórica; El Arte de Vivir; Dunna; Alternativas Creativas para la Paz; RESPIRA; Programa de Desarrollo y Paz del Magdalena Medio; Colegio Sathya Sai, Bogotá; The International Center for Transitional Justice; niñas, niños y padres que participaron en los talleres de futuro y ciencia en distintos lugares del país.

Agradecimientos del Foco Ciencias de la Vida y de la Salud (CVS)

John Jairo Arboleda Céspedes, Rector Universidad de Antioquia; Sergio Cristancho Marulanda, Vicerrector de Investigación, Universidad de Antioquia; Gloria Valencia Bustamante, Asistente de la Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Antioquia; Luis Fernando Múnera Díez, Director, Fundación Universidad de Antioquia; Carlos Alberto Palacio Acosta, Decano de Medicina, Universidad de Antioquia; Esteban David Ahumada; Luz Adriana Martínez, Universidad de Antioquia; Julio Aldana, Director Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima); Pahola Pulgarín y Judith Mestre, Invima; María Teresa Domínguez, Ministerio de Salud y Protección Social; Claudia Tinjacá y Diana Milena Calderón, Colciencias; Raúl Murillo, Director del Centro Javeriano de Oncología; Margarita Ronderos, Universidad Javeriana; Esther de Vries, Directora del programa de Doctorado en Epidemiología

Clínica en la Javeriana; Ángela Ruiz, profesora y Directora del Grupo de Investigación Clínica Universidad del Rosario; Gloria Sánchez, profesora y Coordinadora del Grupo Infección y Cáncer, Universidad de Antioquia; Lyda Osorio y Lena Barrera, profesoras de Salud pública Universidad del Valle; Marion Piñeros y Armando Baena, epidemiólogos en el IARC, Lyon; Maciej Orkisz, profesor de la Universidad de Lyon, coordinador con la Universidad de los Andes y Javeriana; Eduardo Dávila, Ingeniero de CNRS en ciencias de la computación Creatis; José Luis Méndez; Asociación de Industrias Farmacéuticas Colombianas (Asinfar); Cámara de la Industria Farmacéutica de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI); Elkin Echeverry; Yessica Gutiérrez; Jorge Areiza (Ruta N); Salim Mattar (Universidad de Córdoba); Carlos Corredor (Universidad Simón Bolívar); Hernando Baquero; Pedro Javier Villalba (Universidad del Norte); William Reyes; Susan Benavides Universidad de Santander (UDES); Gabriel Jaime Tobón (Universidad ICESI); Norma Serrano (Fundación Cardiovascular de Colombia); Luis Guillermo Restrepo Vélez (Universidad del Rosario); Academia Nacional de Medicina de Colombia; Instituto Nacional de Salud; Instituto Nacional de Cancerología; Instituto de Evaluación Tecnológica en Salud; Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima); Organización Panamericana de la Salud.

Agradecimientos del Foco Energías Sostenibles (ES)

Hernán Porras (Rector Universidad Industrial de Santander), Guillermo González (Vicerrector de Investigación y Extensión), Farid Chejne Janna, Karen Cepeda, Yovany Portilla, Rafael Chona, Angie Martínez, Gonzalo Ordóñez, Rodolfo Villamizar, César Duarte, Gabriel Ordóñez, José Rincón, Juan Oviedo, Javier Solano, Humberto Rodríguez, Iván Serna, Horacio Torres y asistentes a los foros con empresarios e investigadores de Medellín y Bucaramanga.

Agradecimientos del Foco Industrias Creativas y Culturales (ICC)

Tania Delgado, María Camila Cabezas e Iván Franco (Colciencias); Germán Rey, Marisol Cano y Javier Rodríguez (Universidad Javeriana); Ana Piñeres (Asocinde); Héctor Bonilla (Acofartes); Javier Vallejo (Ministerio de Educación); David Solodkow (Universidad de los Andes); Diego Molano (Concejo de Bogotá); Felipe Buitrago, Sandy Guerrero, Cleopatra Marrugo y William Otero (Consejería para asuntos económicos y estratégicos); Carolina Romero y Julián Riatiga (Dirección Nacional de Derecho de Autor); José Luis Niño y Jimena Peña (Universidad EAN); Juan Pablo Salcedo (Universidad El Bosque); Diana Cifuentes (Observatorio Economía Naranja); Carlos Mora y Francisco Carrillo (DANE); Luis Astaiza, Alberto Tamayo, Oscar Corzo y Felipe Arango (Universidad Central); Yesenia Valencia (Smartfilms); Alejandra Álvarez (Corporación Universitaria Taller 5); Mónica Suárez y Diego Téllez (Corporación Universitaria Taller 5); Manuel Sevilla y María Consuelo Villamil (Pontificia Universidad Javeriana, Cali); Germán Flórez (Centro de Pensamiento de Propiedad Intelectual); Paula Botero (Instituto Tecnológico de Medellín); Roberto Amador(Universidad Nacional de Colombia); Santiago Niño Morales(Universidad Distrital Francisco José de Caldas); Estela Barreto (Universidad de Bellas Artes de Cartagena); Lucy Cifuentes (Universidad Autónoma de Bucaramanga); Banco de la República, San Andrés; Lina Rodríguez y Gisela Pérez (Festival de Cartagena – FICCI); Felipe César Londoño (Universidad de Caldas); Luis Carlos Reyes (Observatorio Fiscal, Pontificia Universidad Javeriana); David Melo, Angie Pinzón, María Cristina Díaz, Ulia Yemail, Cristian Estrella, José Argote y Carlos Dueñas (Ministerio de Cultura); Felipe Barrientos, Ignacio Gaitán y Miguel Olarte (Innpulsa); Carlos Baena (Ministerio de Trabajo); Adriana Padilla y Marcela Corredor (Cámara de Comercio de Bogotá); Mario Suárez y Juana Andrade (Secretaría de Cultura Bogotá); Ana María Fries y Jimena Puyo Posada (Artesanías de Colombia); María Claudia Páez (Cámara de Comercio

de Cartagena); Nicolás Carrizosa (Secretaría Distrital de Desarrollo Económico); Fernando Vicario (Organización de Estados Iberoamericanos); Javier Machicado (Consultora Lado B); Julián Riatiga (Dirección Nacional de Derecho de Autor); Fabián Dangond (Gobernación del Cesar); Giovanny Peña Betancur (Redecon); Antonio Cortés (Gobernación de Cundinamarca); Diego García Reyes (Bogotá Design Festival); Juan Carlos Gaitán (Prana); César Sánchez y Betsy Gelves (Comisión Gestora Plan Decenal de Educación); Yesid Bernal (Ministerio de Tecnologías de Información y Telecomunicaciones); Lina Parra (Sala del Ocio y la Fantasía, SOFA; Carlos Reyes (IGDA); Dilia Robinson, Joseph Dan Bush Murillo, Elkin Robinson y Louis Gregory Robinson (Isla de Providencia); Gloria Patricia Zapata (Ministerio de Educación); Cesar Augusto Zambrano (Universidad del Tolima); Raiza Deluque y Roberto Hinestroza (Consejería de Juventudes); Lina Arbeláez (PNUD); Leticia Gennes (World Entrepreneurs); Juan Diego Ortiz (Asanfe); Alcaldía de Villa de Leyva, Instituto Técnico Central (ITC); Jorge Mario Bergoglio (IED); Uniandinos; Fundación Universitaria Juan N Corpas; Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto); Universidad Pedagógica Nacional; Universidad Pontificia Bolivariana; Lasalle College Institute (LCI); Institución Universitaria Pascual Bravo; Universidad Externado de Colombia; Orquesta Filarmónica de Bogotá; Universidad del Rosario; Universidad Jorge Tadeo Lozano; Universidad Antonio Nariño (UAN); Universidad de Boyacá; Corporación Universitaria Unitec; Arcadia Sonora; Secretaría de Cultura de Sopó; Universidad de San Buenaventura; Corporación Lidérate; Corporación Escuela de Artes y Letras; Universidad Santo Tomás; Mola Hub Moda Sostenible; Tarpui; Comisión Profesional de Diseño Industrial; Premio Lápiz de Acero; Ascun; Curupira SAS; Universidad Tecnológica de Pereira; Colegiatura Colombiana; Dirección de formación profesional SENA; Designall, Art Not SAS; Colpensiones; Connect Bogotá Región; Polifonía – Escuela Reúsate y Platzi.

Agradecimientos del Foco de Océanos y Recursos Hidrobiológicos (ORH)

Diego Torres, Cecilia María Vélez, Margarita Peña, Isaac Dyner, Ingrid Paola Barragán, Martha Cortés, Luz Estela Gómez, Luz Piedad Arrigui, María del Pilar Blandón, Paola Noreña, Carl Langebaek, Jorge Molina, Manu Forero Shelton, Tatiana Rey, Enrique Forero, Marcela Macías, Capitán de Navío (r) Francisco Arias, Jesús Antonio Garay, Sandra Rincón, Paula Cristina Sierra, David Alonso, Luz Marina Mantilla, Carlos Alberto Mendoza, Edwin Agudelo, Adriana Santos, Nestor Campos, Sven Zea, Arturo Acero, Ernesto Mancera, Claudia Vaca, Luisa F. Dueñas, Señor Vicealmirante (r) José William Porras, Señor Almirante Mauricio Soto, Señor Almirante Edgar Romero, Capitán de Navío (r) Ricardo Ariza, Capitán de Navío (r) Carlos Alberto Andrade, Señor Contralmirante Francisco Hernando Cubides, Capitán de Fragata Alejandro Rueda, Capitán de Corbeta Julio Monroy, Teniente de Navío Diana Sánchez, Capitán de Navío Juan Camilo Forero, Mónica López, Carlos Alberto Ramírez, Juanita Goebertus, Iván Agudelo, Luis Fernando Barrios, Luis M. Manjarrés, Juan Mayorga, Juan Carlos Alonso, José Saulo Usma, Luz Stella Gómez Giraldo, Luis Fernando Gómez, Analinda Torres, Gina Ortiz, Hilayalith Rodríguez, Ana Carolina Barrera, Nicolás Bustamante.

Agradecimientos del Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 (TCeI4.0)

Markus Eisenhauer, Fraunhofer Institute FIT (Alemania); Juan Luis Mejía (Rector de la Universidad EAFIT); Adolfo Meisel Roca (Rector de la Universidad del Norte); Raimundo Abello Llanos (Universidad del Norte); Oscar Caicedo, Mauricio Arroyave Franco, José Alejandro Montoya, Olga Lucía Quintero, Nora Cadavid Giraldo y Diego Leal Fonseca (Universidad EAFIT); Andrea Álvarez (Universidad del Norte).

P17 **Presentación**

P22 **Prólogos**

Universidad EAFIT **p29**

Prólogo Universidad del Norte **p37**

P40 *uno*
Una nueva Colombia y la cuarta revolución industrial+NBIC

Relatoría del Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 **p43**

Las tecnologías convergentes (NBIC) como la base de la cuarta revolución industrial **p48**

Objetivo y visión del foco **p52**

Arquitectura crítica para la oportunidad global **p54**
- Cinco Capas Horizontales p56
- Siete Pilares Verticales p58

La convergencia tecnológica y la química verde **p64**
- Desarrollo de recurso humano y su retención p67
- Transformación del sistema educativo p68
- Ética en la era digital (política pública) p68
- Alianzas entre el sector público y privado y la internacionalización p69
- Atracción de inversión p69
- Mecanismos para garantizar el acceso al mercado p70
- Equilibrio entre la academia y sistema nacional CTI p70
- Innovación en políticas públicas – modernización y referenciación p70

Conectividad y diseño de una plataforma de nanomateriales verdes inteligentes **p73**
- Desarrollo y retención de recursos humanos p74
- Transformación del sistema educativo K-12-T-U (aprendizaje a lo largo de toda la vida) p75
- Construcción de una ética digital (política pública) p75

Asociaciones público-privadas e internacionalización p76
Atracción de dinero inteligente a escala - capital privado p76
Aprovechamiento total de los sistemas nacionales de la academia y la ciencia p77
Innovación en políticas públicas - modernización y *Benchmarking* (fundacional) p77

Colombia, conversión en centro latinoamericano de manufactura aditiva **p79**
Desarrollo y retención de recursos humanos p81
Transformación del sistema educativo - K-12-T-U (aprendizaje permanente o *Lifelong learning*) p81
Construcción ética digital (política pública) p82
Asociaciones público-privadas e internacionalización p83
Atracción de dinero inteligente a escala - capital privado p83
Aprovechamiento total de los sistemas nacionales de la academia y la ciencia p84
Innovación en políticas públicas - modernización y *Benchmarking* (fundacional) p84

P86 *dos*
Convergencia tecnológica: reflexiones y articulaciones

La convergencia tecnológica y los grandes retos de la Misión de Sabios **p89**

Carbon-Free Energy *at Scale* and Its Impact on Climate Change Adaptation and Mitigation **p91**

La investigación aplicada y el Modelo Fraunhofer **p99**

Nanotecnologia: tecnología clave para habilitar nuevos desarrollos **p106**
Desarrollo de recurso humano y su retención p110
Transformación del sistema educativo p110
Ética en la era digital (política pública) p111
Equilibrio entre la academia y sistema nacional CTI p111

Asimilación de datos: mecanismo de apoyo para el desarrollo integral de Colombia **p114**
Pronóstico de variables físicas p115
Asimilación de datos p117
Oportunidad de implementación de mecanismos de asimilación de datos en el contexto colombiano p118
Recomendaciones p119

P122 *tres*

Colombia, ¿en línea con la nueva revolución?

Secretaría técnica del Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 p125
Capital humano p127
Educación superior en áreas afines a la convergencia NBIC y la Industrias 4.0 p128
Nivel de formación académica de los empleados en Colombia p129
Formación de alto nivel y diáspora científica p130
Grupos de investigación p131
Producción académica y su impacto p133
Publicaciones en el área de Tecnologías convergentes NBIC p135
Publicaciones en el área de Industrias 4.0 p138
Patentes p141
Citación de publicaciones colombianas en el proceso de registro de patentes p144
Atracción de dinero inteligente (sector productivo) p. 144
Innovación y apropiación tecnológica por parte de la industria p145
Inversión en innovación, ciencia y tecnología p146

Sector productivo asociado a las tecnologías convergentes NBIC o Industria 4.0 en Colombia y su impacto económico p147

Indicadores de seguimiento p148

P153 **Epílogo**

La transición para la Nueva Colombia después de la crisis causada por la Covid-19 **p155**

P160 **Foros regionales: barreras y oportunidades para las Tecnologías convergentes e Industrias 4.0 en Colombia**

Foro regional Villavicencio **p164**

Foro regional Bucaramanga **p166**

Foro regional Popayán **p168**

Foro regional Medellín **p169**

P173 **Comisionados y relatores**

Comisionados **p175**

Relatores **p180**

enido

Presentación

María del Pilar Noriega E., PhD.
Coordinadora del foco temático

El presente volumen sobre Colombia y la nueva revolución industrial, escrito por el foco temático Tecnologías convergentes Nano, Bio, Info y Cogno e Industrias 4.0, forma parte de la colección *Colombia hacia una sociedad del conocimiento,* documentación creada por la Misión Internacional de Sabios 2019, que convocó el presidente del Gobierno de Colombia, Iván Duque Márquez, bajo el liderazgo de la vicepresidenta Marta Lucía Ramírez.

El documento que presentamos es fruto del trabajo mancomunado de los cuatro comisionados, Tim A. Osswald, Jean Paul Allain, Orlando Ayala y María del Pilar Noriega E.; las secretarías técnicas, Universidad EAFIT y Universidad del Norte, con sus relatores Mónica Álvarez-Láinez y Elías Niño, respectivamente; y el valioso apoyo de Colciencias, ahora MinCiencias, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, y especialmente a Sonia Esperanza Monroy, Diego Fernando Hernández y Sebastián Eslava; y de Markus Eisenhauer a través de la Sociedad Fraunhofer FIT (Institute for Applied Information Technology) de Alemania. Como se evidencia, este foco es un ejemplo de cooperación internacional y trabajo conjunto con la diáspora de científicos colombianos en el exterior.

La convergencia tecnológica requiere de modernización en la infraestructura actual del país y de nuevas capacidades digitales a través de mecanismos como, por ejemplo, la internacionalización, la promoción de alianzas entre el sector público y privado, y la atracción de capitales de riesgo para el emprendimiento de base tecnológica. Esto presume, en un país como Colombia, la generación de políticas públicas modernas para la ciencia, la tecnología y la innovación, que sean acordes con la gran convergencia tecnológica, y la necesidad de desarrollar el recurso y el talento humano con nuevas formaciones, competencias y aspiraciones a corto, mediano y largo plazo.

Es incuestionable que, a raíz de su uso global, esta convergencia tecnológica también genera desafíos éticos, por ejemplo, velar por el buen uso de la inteligencia artificial en diferentes campos, tales como la educación, la investigación, la medicina, la seguridad, entre otros. Es importante no perder de vista al ser humano como centro imprescindible de los desarrollos tecnológicos y sociales, pues finalmente es quien se beneficia de las ciudades inteligentes y de los territorios sostenibles, de los nuevos programas de formación y autoestudio, del trabajo colaborativo, de las redes inteligentes, del acceso a productos especializados de gran consumo, entre otros. Por tal motivo, el gran desafío será la equidad en el acceso para que estos beneficios lleguen a la sociedad colombiana en pleno.

El primer encuentro-taller presencial de los comisionados y relatores del foco tuvo lugar en Atlanta, Estados Unidos, en abril de 2019, luego de varias reuniones virtuales. Este encuentro marcó el rumbo de los grandes temas: la infraestructura y la educación en Colombia; la arquitectura crítica para la oportunidad global del país; la interconexión entre las tecnologías convergentes; las nuevas industrias en biotecnología y medio ambiente, química verde y sostenibilidad; la manufactura avanzada y los nano-biomateriales; las plataformas convergentes con tecnologías de la información y comunicación (TICS) y la nueva Colombia en entornos de convergencia tecnológica y transformación digital.

En dicho encuentro, además, se discutió sobre los retos y desafíos del naciente Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación; sobre el impacto

de la transferencia de tecnología en la academia, la industria y el Estado; sobre la gobernanza local, regional y nacional de un sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) y la política pública en CTI; sobre las mejores prácticas llevadas a cabo en el ámbito internacional alrededor de este campo; y de las principales iniciativas y propuestas del foco. También se definieron los diversos aspectos metodológicos como los estados del arte o de la técnica, ensayos técnicos o *white papers,* encuestas, talleres, foros, diagnósticos, conferencias, que se tendrían en cuenta para las discusiones; se coordinaron los espacios virtuales y presenciales para la discusión y el aporte de contenidos; entre otros temas.

Foto 1. Comisionados del foco temático en la segunda cumbre de la Misión de Sabios, realizada en Cartagena, Colombia. De izquierda a derecha, Orlando Ayala, María del Pilar Noriega E., Jean Paul Allain y Tim A. Osswald.

Los siguientes encuentros presenciales de los cuatro comisionados, las secretarías técnicas y los relatores del foco se realizaron paralelamente en el marco de las cumbres de la Misión Internacional de Sabios en Medellín (junio de 2019), Cartagena (septiembre de 2019) y Bogotá (diciembre de 2019). Además, a lo largo del año 2019, se llevaron a cabo diferentes foros de análisis y discusión de resultados y propuestas preliminares del foco en Barranquilla, Medellín, Bogotá, Manizales, Montería, Bucaramanga, Popayán y otras ciudades del país.

Foto 2. Reunión en la segunda cumbre de la Misión de Sabios de los 4 comisionados del foco, los relatores, secretarías técnicas, empresarios y dirigentes gremiales en Cartagena, Colombia.

El reto *Colombia productiva y sostenible* fue liderado por el Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 con la activa participación de los otros focos temáticos. De tal manera que los tres retos identificados por la Misión de Sabios, *Colombia biodiversa, Colombia productiva y sostenible* y *Colombia equitativa*, aprovechan la convergencia tecnológica y las

industrias 4.0 para la transformación del país a partir de un modelo de bioeconomía sostenible y economía creativa, una estructura productiva de industrias y servicios de alto contenido tecnológico y de empresas de economía circular con proyección exportadora, aprovechando las ventajas comparativas en recursos renovables valiosos, y las mejoras en educación y salud de alta calidad. Estas líneas de acción conducirán al anhelado crecimiento económico del país, donde la infraestructura, el capital humano y el conocimiento serán el motor.

Foto 3. Comisionados y relatora del foco temático en la tercera cumbre de la Misión de Sabios en Bogotá, Colombia. De izquierda a derecha, Tim A. Osswald, María del Pilar Noriega E., Mónica Álvarez-Láinez y Orlando Ayala.

La emergencia sanitaria provocada por la COVID-19 aceleró la innovación en Colombia hacia la creación de nuevos materiales, productos, métodos y servicios en el mercado nacional con proyecciones de exportación, lo cual formó parte de las recomendaciones del foco con las capas de valor y de innovación de la arquitectura crítica y del reto *Colombia productiva y sostenible* con su respectiva misión, liderada también por este

foco temático. Sin embargo, se requieren equilibrios entre la academia, la industria y el Estado, y desarrollos endógenos y exógenos que creen valor y sean promotores de mayor crecimiento económico, competitividad y equidad, de tal manera que amplias capas de la población se integren al desarrollo económico y sustentable.

Prólogos

Universidad EAFIT

Juan Luis Mejía Arango
Rector

La educación tiene una posición de privilegio en las transformaciones que se avecinan en un mundo caracterizado por lo impredecible y lo efímero. Por eso, más que respuestas, el sistema educativo debe proveer preguntas de todo tipo y en todos los frentes, cuestionamientos constructivos que inviten a la humanidad a avanzar y a superarse día tras día. En la instalación de la I Cumbre de la Misión Internacional de Sabios,[1] celebrada en el Parque Explora de Medellín, precisamente en un espacio disruptivo creado para la apropiación social del conocimiento, quise proponer una reflexión de diez puntos sobre los desafíos a los que nos vemos enfrentados los educadores, y que están en consonancia con el espíritu de los tiempos.

1 El prólogo que se presenta a continuación fue el discurso emitido por el rector de la Universidad EAFIT, Juan Luis Mejía Arango, en la instalación de la I cumbre de la Misión Internacional de Sabios llevada a cabo el 10 de junio de 2019.

1. El aprendiz permanente

La universidad se encuentra en una reflexión constante de sus prácticas académicas, pedagógicas e investigativas. Las nuevas pedagogías se caracterizan por flexibilizar el modelo curricular, por aplicar el enfoque por competencias a los planes de estudio, y por desarrollar experiencias de aprendizaje activo. Además, involucran la innovación con nuevos medios interactivos y recursos de aprendizaje.

Este proceso también implica una transformación en el papel de los docentes, que dejan de ser el centro del proceso para asumir roles de guía, tutor, mentor, asesor, arquitecto de ambientes de aprendizaje y diseñador de experiencias. En este contexto, el docente adquiere una dimensión retadora: convertirse en un ejemplo viviente de lo que significa ser un aprendiz en el siglo XXI, de forma permanente, así como un referente de flexibilidad, de apertura, de renovación de actitudes, saberes y prácticas, sin prescindir de la rigurosidad inherente a la actividad científica y académica.

Todas estas transformaciones llevan a la promoción de una mayor flexibilidad en las estructuras académicas al superar las organizaciones puramente facultativas, o por escuelas y departamentos, pasando a estructuras más complejas: áreas interdisciplinares, divisiones, proyectos y problemas, entre otros.

2. Integridad: un imperativo de los tiempos

La integridad es un pilar fundamental en la educación. Hace referencia a completitud, a honestidad, a excelencia humana. Es un horizonte moral que se convierte en un faro para profesores, estudiantes y todos los que integramos el ámbito de la educación. Sin integridad es imposible avanzar en la tarea de formar a niños y jóvenes en el ser, en el saber y en el hacer. Con integridad, en cambio, podemos darle sentido ético a cada uno de los valores de nuestras instituciones educativas. Poco aporta a la sociedad una educación de excelencia, pero con grandes grietas en la cimentación moral del ser.

Pensando en Aristóteles y en lo que le enseña a su hijo en el bello texto *Ética a Nicómaco,* la integridad sería lo que para el filósofo griego era la prudencia, una virtud excelsa sobre todas las demás, aquella que le da la justa medida y el sentido a esas declaraciones morales con las que nos comprometemos como educadores y como aprendices. La integridad será un faro para que la ruta sea la indicada, el paso adecuado, la intención recta, y la meta razonable y esperanzadora.

3. Sostenibilidad: un desafío de la humanidad

Fue un año de esperanza, de creer que la humanidad vislumbra un futuro en el que impere la sostenibilidad, en el que haya equilibrio y la mira esté puesta en las nuevas generaciones con el fin de dejarles un planeta mejor que el que recibimos las generaciones actuales. Fue en 2015 cuando se promulgaron tres documentos que marcaron un nuevo camino para los habitantes de este planeta: la encíclica papal *Laudato si'*, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y COP21. No obstante, estos son retos universales que no pueden analizarse de manera aislada, sin un contexto común y con la convicción de que la responsabilidad de llegar a un puerto exitoso nos incluye a todos por igual.

Así, y con este preámbulo, las instituciones de educación superior tenemos la obligación innegociable de tomar decisiones y actuar en reciprocidad con la sociedad, los ecosistemas, los mercados y las generaciones futuras. No tenemos otra alternativa para la supervivencia de nuestras instituciones. Debemos ser actores relevantes para impactar positivamente al desarrollo sostenible de la humanidad. Debemos buscar alinear y conectar nuestras posiciones institucionales, y todas las actividades misionales (docencia, investigación y proyección social), a los principios y las metas de la agenda universal de desarrollo sostenible. Recordemos aquel sabio proverbio africano: "El mundo no es una herencia que nos legaron nuestros padres, sino un préstamo que nos hacen nuestros hijos".

4. Sintonía entre Universidad-Empresa-Estado-Sociedad

Si la universidad no está al servicio de la sociedad, su existencia carece de sentido. Todo el conocimiento que se genera en sus campus, aulas y laboratorios debe tener como fin mejorar el único mundo, nuestra única casa, el minúsculo planeta que nos correspondió en suerte habitar. En este caso, las instituciones de educación superior deben retribuirle a su entorno todo lo que este les ha entregado a través de una transferencia de conocimiento en el que esté incluida, además de la universidad y el Estado, la empresa, es decir, el dinámico sector privado que encuentra resultados que le son útiles para su productividad y, de paso, permiten que la academia experimente nuevos saberes. Es, sin duda, un trabajo articulado entre estos actores en beneficio del desarrollo social y económico.

5. Dimensión cultural de la universidad

Universidad es universalidad, diversidad, inclusión. Y así como es descubrimiento, también es creación, lo cual le brinda una verdadera dimensión cultural, que enriquece su acervo y permite el encuentro, no solo de conocimientos, sino de artes, de manifestaciones, de rupturas. Preocupa, entonces, que de los procesos de acreditación y de medición que se da por ránquines se excluya la cultura y muchos de los tópicos que de esta se derivan, razón que puede llevar a que se empobrezca la idea de universidad y se pongan en conflicto ambos conceptos, pues cultura y universidad deben ir de la mano, porque una y otra requieren pensarse y elaborarse en forma conjunta. Sí, la verdadera educación afinca sus raíces en las culturas que la inspiran. Educar en las aulas y formar en los campus es, en ese sentido, una labor propia de dicha dimensión cultural, que reclama espacios para crear y, a su vez, para transformar.

No podemos perder la capacidad de admiración, ese sentimiento que produce la contemplación de una obra de arte, la exaltación y el júbilo por una pieza musical, el asombro por la belleza de un verso y la remembranza de un poema grabado en el corazón. Es allí donde encontramos nuestra

humanidad. La universidad debe propiciar estos espacios, y enriquecer y tocar para siempre la vida de sus estudiantes.

Hace ya más de treinta años que asistíamos al reconocimiento de la diversidad cultural como una gran riqueza de la humanidad desde sus miradas múltiples, multiculturales. Pero parece que el péndulo de la historia regresa a posiciones que creíamos superadas como el pensamiento único, los nacionalismos excluyentes, las xenofobias marginadoras. Es papel de la universidad preservar lo plural, lo diverso, lo multi y pluricultural.

6. Universidad para todas las generaciones

Los resultados preliminares del Censo de Colombia de 2018 muestran cambios drásticos en la estructura de la población. Las transformaciones demográficas, por ejemplo, generan nuevos retos para la proyección y la sostenibilidad de la educación superior, que no es ajena a las dinámicas que se originan en las ciudades, donde familias compuestas por hijos únicos y un crecimiento significativo de la clase media plantean escenarios novedosos. Por eso, la apuesta de las universidades debe dirigirse a albergar a todas las generaciones, de modo que converjan con naturalidad niños, jóvenes, adultos y adultos mayores, y así dar respuesta tanto a sus necesidades particulares de formación, como a sus apetencias culturales, de ocio, y hasta espirituales. Las universidades tienen, ante los retos demográficos, el propósito de cautivar a las personas, indistintamente de su edad, para trabajar en ellas la potencialidad que conllevan como seres humanos.

Así, el sistema educativo debe crear métodos de aprendizaje para personas que aprendan a aprender, con un pensamiento crítico, en ambientes de constante transformación, en un proceso que no termina, que es para toda la vida, y donde las habilidades del ser y las competencias serán determinantes para sobrevivir a los desafíos del futuro. A su vez, como señala la llamada *Curva de Stanford,* la humanidad duplica su acervo de conocimientos en una tasa que en la actualidad no supera los dos años y que con la llegada del "Internet de todo" el mundo duplicará toda la información que posee cada once horas. Estamos pues, y por fortuna,

condenados a desaprender y aprender a lo largo de toda la existencia. Y la universidad tiene que tener la suficiente plasticidad para acompañar cada uno de los nuevos momentos de aprendizaje.

7. Nuevas tecnologías e industrias 4.0

Las nuevas tecnologías, o más precisamente la revolución de la industria 4.0, están fomentando un cambio exponencial en el enfoque y en la forma como las organizaciones y las personas se desempeñan. Hoy hablamos de automatización de roles o funciones, incluso, de un reemplazo completo de profesiones tal como las conocemos. Sin embargo, lo que no será reemplazada es la sensibilidad humana, la misma que nos permite seguir identificando los problemas y las necesidades desde lo profundo del ser, de cada individuo y de cada sociedad. En este sentido, la conexión humana seguirá siendo lo más relevante para acompañar estas transformaciones. Y el papel de la universidad como institución en esa transición será la de seguir siendo inspiradora de emociones, ser ese lugar en el que la capacidad de asombro se viva de forma constante, de día y de noche; donde sorprenderse sea un imperativo; donde un amanecer o un atardecer generen la afortunada conciencia de estar vivos para disfrutar las maravillas que nos dispensa el universo. La frialdad de la tecnología solo puede contrastarse con la cercanía de lo humano.

8. Nuevos empleos y nuevas formas de relacionarnos

Como menciona Yuval Noah Harari, en su libro *21 lecciones para el siglo XXI,* "no tenemos idea alguna de cómo será el mercado laboral en 2050". De hecho, uno de los grandes desafíos de la educación superior es que formamos profesionales que estarán desempeñándose en empleos que aún no existen. Los jóvenes que apenas ingresan a la universidad trabajarán en empresas que todavía no han sido creadas, resolviendo preguntas que ni siquiera nos hemos formulado. Por eso, la formación de pensamiento

computacional, la capacidad de autoaprendizaje y el espíritu de indagación ante los arcanos secretos que aún guarda la naturaleza son competencias indispensables en los procesos de la inicial formación universitaria.

9. Descubrimiento y creación

El desarrollo y el avance de la humanidad se sustentan en el conocimiento y, para ello, se requiere del talento que lo genere. Es la alta formación doctoral la llamada a crear ese nuevo conocimiento. Colombia posee cerca de 14.000 doctores, de los cuales el 91% se encuentra en las universidades. Creo que el significado de esta cifra habla por sí solo. Son las universidades las llamadas a impulsar el desarrollo de la ciencia, a proponer las preguntas que la sociedad requiere y a trabajar en las respuestas que la humanidad demanda. Por tanto, es un imperativo el apoyo a ese gran capital humano que con tanto esfuerzo ha formado el país en los últimos años, pues de lo contrario encontrarán en otras latitudes su desarrollo como científicos, y entonces, estaríamos ante la gran ironía de crear un gran capital humano y luego desperdiciarlo.

10. Un Estado ágil

La estructura del Estado debe sufrir unas profundas transformaciones para estar acorde con los veloces cambios de los tiempos. De lo contrario, no estará en sintonía con la vertiginosa evolución del conocimiento, y podrá convertirse en un obstáculo y no en un detonante de las transformaciones a las que nos enfrentamos.

No puedo dejar de referirme en este decálogo a la importancia de esta nueva Misión de Sabios. ¡Enhorabuena! Ya era hora de ocuparse nuevamente y en serio de la ciencia y la tecnología, de remitirse a estudiar las causas y no los síntomas, y actualizar esa visión de a dónde queremos llegar como Nación. A Colombia le hace falta más ciencia básica. Más relacionamiento

Universidad-Empresa-Estado. Más financiación, con participación de formas diferentes de fondos y de la banca privada. Es necesario, además, que la regulación se actualice y avance más rápido, en concordancia con los veloces cambios que presenta la ciencia y el conocimiento. Qué bueno que expertos nacionales, internacionales y premios Nobel nos ayuden dando luces para ese nuevo recorrido por emprender. Qué bueno que nos ayuden a hacer de la ciencia, la tecnología, la innovación y la educación los grandes motores del desarrollo para Colombia.

La anterior comisión de sabios estaba transitando por el último año de gobierno del entonces presidente César Gaviria. Y, por desgracia, no fue adoptada como agenda colectiva por posteriores administraciones. Esta nueva convocatoria ha llegado en un momento oportuno. El gobierno tendrá tres años para implementar las recomendaciones entregadas por la Comisión de Sabios. Pero creo que estas recomendaciones no son solo para el gobierno de turno. Por eso quiero invitarlos a todos, al mundo académico, empresarial, a las organizaciones sociales, y en general a todos los ciudadanos a que, una vez entregado el informe final, nos apropiamos de este, lo arropemos, lo divulguemos, lo amemos. La invitación es a generar una gran movilización social que promueva la implementación de sus recomendaciones. No podemos perder esta oportunidad histórica para poner a la ciencia en el centro de la agenda nacional.

Universidad del Norte

Dr. Raimundo Abello
Director de Investigaciones

Colombia es un país cuyos sectores económicos requieren del apoyo de tecnologías convergentes e industrias 4.0 para mejorar sus procesos, y por eso, uno de los ejes de la Misión de Sabios fue promovido hacia ese tema. Colombia ha invertido en esfuerzos y recursos a nivel nacional para la creación de plataformas y personal capacitado. Ejemplo de esto es el actual convenio de MinTIC con la compañía americana Correlation-One, por medio del cual se han capacitado más de 800 científicos de datos a nivel nacional, del sector público y privado; además de la creación y adopción de plataformas digitales como lo han sido Rappi, Ecopetrol, iFood, SAS Analítica, entre otras; y el que varias compañías hayan visto el importante valor de tener un departamento, o un laboratorio en el mejor de los casos, de Investigación y Desarrollo (I+D). Sin embargo, todavía estamos muy atrasados en este campo, como se evidencia en muchos de los resultados alcanzados en el diagnóstico desarrollado en el foco de la Misión de Sabios,

donde se delineó el camino de la digitalización, orientado a desarrollar aun más esta importante actividad en el país.

El informe final de este foco fue ampliamente participativo, donde se aprovecharon los nichos nacionales de las universidades y empresas, el apoyo internacional, la participación de expertos en este campo, y un diagnóstico muy bien desarrollado que no solo permite precisar nuestras fortalezas sino las grandes falencias que tenemos actualmente, y que esperamos mejorar con el plan y la inversión que se han delimitado para ello.

Para la Universidad del Norte ha sido una gran oportunidad participar en el Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 de la Misión de Sabios en Colombia, por el trabajo científico que ha venido fortaleciendo en los últimos años y por la transformación de procesos y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje de máquina orientados a optimizar procesos industriales en empresas, como mejoramiento de procesos administrativos. Además, hemos visto la necesaria adopción de metodologías basadas en asimilación de datos con el objetivo de mitigar la falencia de información en históricos de datos por medio de simulaciones de la realidad; esto permitiría, por ejemplo, el pronóstico de tormentas y desastres naturales, y la posibilidad de estudiar el impacto del cambio climático sobre la fauna y la flora en diferentes áreas de nuestro país.

Sin embargo, preocupa el rezago de Colombia en I+D, y en inteligencia artificial en particular. Nuestro promedio histórico de gasto en esos frentes es inferior al 0,3% del PIB, y con cada revolución tecnológica del último siglo y medio el país retrocedió varios peldaños, ampliando la brecha digital con las naciones prósperas. Para ello, lo que se pretendió en este foco, mediante un plan bien delimitado, fue aprovechar los nichos existentes y trazar un plan de inversión y fortalecimiento significativo en áreas que para el país deben ser estratégicas en la actualidad.

Capítulo

uno

Una nueva Colombia y la cuarta revolución industrial+NBIC

Relatoría del Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0

Mónica Álvarez-Láinez
Relatora, Universidad EAFIT

Nora Cadavid Giraldo
Asistente técnica, secretaría Universidad EAFIT

Una de las particularidades de esta segunda Misión Internacional de Sabios Colombia 2019 fue la figura del relator. El relator es quien narra el desarrollo de una actividad académica, con todos sus detalles formales, pero también con sus ideas y percepciones; es decir, una relatoría va y viene entre lo concreto y lo subjetivo. Se trata de un informe académico enriquecido por la creatividad y el análisis individual de quien está narrando. En nuestra calidad de relatores del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0, queremos introducir este libro narrando la experiencia vivida por el equipo de los comisionados, los secretarios

y los invitados a la discusión, y de todos aquellos que participamos en el desarrollo de esta misión trascendental.

El balance presentado por parte del Gobierno nacional en el discurso de apertura de la misión marcó una dirección muy clara: la importancia de analizar la relación entre las políticas del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación y el sector productivo en Colombia. Al observar los resultados de la primera misión, y en medio del conjunto de sus logros, especialmente relacionados con temas de formación de capital humano, número de grupos de investigación y producción académica, se identifica que el gran rezago del país está en el sistema productivo, sustentado todavía por la exportación de materias primas y productos agrícolas derivados de sistemas de producción clásicos, con mínimo valor agregado y escasas relaciones con dicho sistema.

En medio de este panorama, ¿cómo abordaría Colombia el tema de la cuarta revolución industrial? ¿Cómo acelerar el desarrollo de la nanotecnología, biotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas en el país? ¿Cuáles serían las estrategias para propiciar la convergencia interdisciplinaria, potenciando el impacto de cada una de estas áreas? ¿Está preparado el sector productivo colombiano para integrarse a la dinámica de la cuarta revolución industrial y aprovecharla a su favor? ¿Puede el entorno científico nacional permear la capacidad productiva del país? Estas preguntas marcaron el inicio de la gestión de nuestro grupo de trabajo.

La primera respuesta vino desde la denominada *Arquitectura crítica para una oportunidad global,* y fue propuesta como la estructura básica que permitiría la construcción de un ecosistema de innovación, equivalente al entorno propicio para la gestión exitosa de proyectos de desarrollo científico con impacto nacional. Los comisionados se reunieron personalmente, estudiaron y aprobaron dicha arquitectura, que expone los componentes básicos y fundamentales del ecosistema de innovación que el país requiere. Al cerrar el balance de la gestión de nuestro grupo, podríamos afirmar que esta arquitectura para la innovación es, quizá, el aporte más significativo del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 a la misión.

Bajo esta lógica, el libro que presentamos a continuación describe la arquitectura para la oportunidad global, y a partir de allí se presentan los documentos que cada comisionado del foco construyó desde su área de investigación en particular. El primer capítulo constituye el legado que cada comisionado o relator entrega al país desde su respectivo campo de trabajo. En su lectura se descubre el alto potencial creativo a partir de aplicaciones tecnológicas alrededor de temas que cuentan con expertos en Colombia. Es una invitación explícita a soñar con lo posible, integrando la dinámica académica con la dinámica productiva. También es una respuesta a algunas de las preguntas planteadas anteriormente; y un sueño, que hoy está en unas cuantas mentes aisladas, pero que, en medio de un ecosistema de innovación fortalecido, podría convertirse en gran motor de desarrollo nacional.

El capítulo dos complementa este trabajo específico integrándolo a los resultados generales de la misión. El grupo completo de comisionados propuso una nueva agenda de investigación para el país a través de las denominadas *misiones emblemáticas,* las cuales quedaron enmarcadas dentro de los tres grandes retos que debe afrontar el país para alcanzar la tan anhelada sociedad del conocimiento. La idea se materializa a través de un principio que se hace cada vez más visible y presente: la convergencia tecnológica es un fenómeno natural, que bajo la expresión "Tecnologías Convergentes NBIC" describe la combinación de cuatro campos fundamentales, Nano-Bio-Info-Cogno, con sus elementos básicos estructurantes, átomos, genes, bits y sinapsis neuronal, en sistemas jerárquicos desde la nano hasta la macro-escala. Recurriendo al lenguaje gráfico, presentamos el carácter transversal de la convergencia NBIC en todas las áreas del conocimiento, elementos que están presentes en cualquier desarrollo científico y tecnológico actual. Ahora bien, su único fundamento está en las ciencias básicas, y con ello, nuestro grupo resalta la urgencia de su fortalecimiento en todos los niveles del sistema educativo.

Para finalizar, en el capítulo tres se presenta una sección igualmente significativa de nuestro trabajo. Se trata del resultado de un diagnóstico colectivo que describe, de manera general, el estado del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación del país, en lo relacionado con las

temáticas más afines a este foco. Dicho diagnóstico es producto del trabajo de las secretarías técnicas que Minciencias delegó como apoyo a los comisionados, quienes a su vez convocaron a públicos expertos en Barranquilla, Bucaramanga, Medellín, Popayán y Villavicencio para validar un diagnóstico inicial, complementarlo y construir propuestas colectivas de mejoramiento. Es esta la mejor oportunidad para celebrar y agradecer el ánimo de participación y cooperación que encontramos en expertos, académicos y empresarios de cada una de estas ciudades. La conversación con los actores estratégicos de las regiones fue un gran placer para nosotros, ya que enriqueció el diagnóstico, resaltó nuestras particularidades, validó las propuestas de la misión y, sobre todo, contribuyó a fortalecer la idea de unión y articulación de todo el país a favor de esta gran misión. En este punto, no podemos dejar de mencionar las dos grandes preocupaciones del público de nuestros foros de discusión: la inclusión de las regiones en la dinámica del sistema de CTI nacional, y el estímulo a la innovación tecnológica para mayor competitividad en el sector productivo colombiano, especialmente en las pequeñas y medianas empresas.

A través de este libro cerramos nuestro relato y reconocemos al grupo de científicos, académicos, servidores públicos y empresarios que constribuyeron en la construcción de esta propuesta y que, seguramente, liderarán el desarrollo de las misiones que han quedado dibujadas. La construcción de un sólido ecosistema de ciencia y tecnología en Colombia requiere de elementos reconocidos: capital humano, madurez institucional, infraestructura física, recursos tecnológicos y financieros, y un marco legal y regulatorio propicio para la acción. Pero entre todo este conjunto amplio y complejo, hay una condición indispensable que nos permitimos agregar aquí como nuestra propia conclusión: capacidad de cooperación en todos sus niveles, interpersonal, interinstitucional e internacional.

De dicha cooperación habla el trabajo llevado a cabo desde nuestro foco: los comisionados tuvieron innumerables reuniones de grupo y participaron de manera constante en las reuniones generales de la misión; miembros de las secretarías técnicas se unieron constantemente en la búsqueda de información, elaboración y revisión de los documentos de trabajo; igual papel desempeñaron los expertos invitados, revisando y

Desde nuestro foco en la misión, contamos **300 días de trabajo** que involucraron el trabajo colaborativo y voluntario de más de **200 personas.** En esta capacidad de acción colectiva está nuestra mayor fuente de **optimismo.**

validando nuestro trabajo. Desde nuestro foco en la misión, contamos 300 días de trabajo que involucraron el trabajo colaborativo y voluntario de más de 200 personas. En esta capacidad de acción colectiva está nuestra mayor fuente de optimismo. La Primera Misión de Sabios permitió que el capital humano se fortaleciera en su dimensión académica. Ha llegado el momento de afinar la capacidad de cooperación, de manera que cada uno sea capaz de ser parte efectiva en la gran tarea colectiva de construir un país soportado en el conocimiento.

Las tecnologías convergentes (NBIC) como la base de la cuarta revolución industrial

Mauricio Arroyave Franco
José Alejandro Montoya
Olga L. Quintero-Montoya
Mónica Álvarez-Láinez
Nora Cadavid Giraldo
Miembros de la Secretaria Técnica de la Universidad EAFIT

La cuarta revolución industrial, sin duda, es uno de los términos que ha comenzado a ocupar cada vez más espacio en nuestra cotidianidad; sin embargo, esta regularización del término no puede desligarse de su origen: *la cuarta revolución industrial tiene como base las tecnologías convergentes*.

La convergencia de la ciencia y la tecnología ha sido un factor esencial para resolver problemas globales en la sociedad. Los conceptos de la nueva

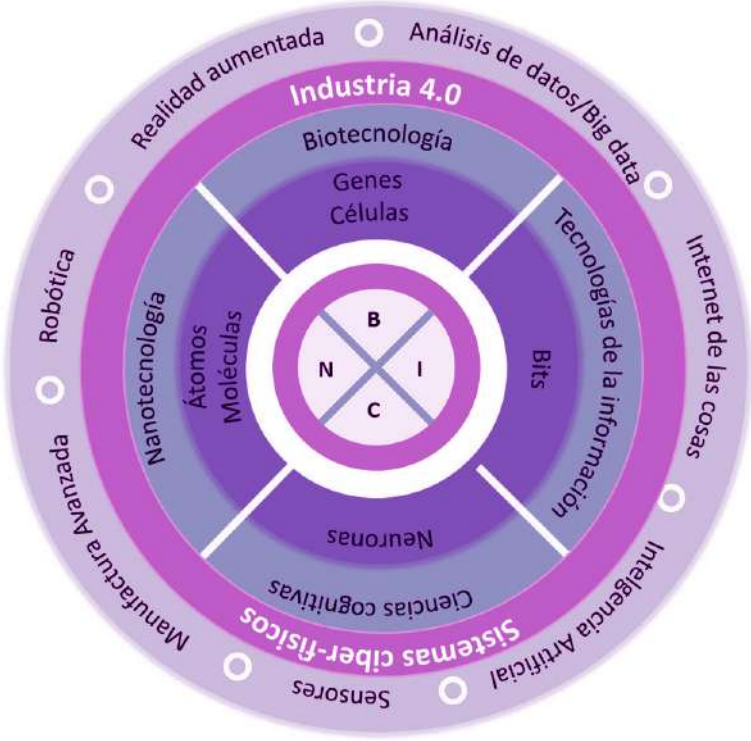
revolución industrial descansan sobre dicha convergencia, con el fin de crear nuevas tecnológias que propicien la productividad industrial, sin dejar de lado la relación, o mejor dicho, la integración necesaria entre las máquinas, las personas y la internet. Con el fin de explicar esta integración, surge el término NBIC, el cual fue acuñado por primera vez por Mihail C. Roco y William Sims Bainbridgen en 2001. El trabajo articulado de la Nanotecnología, la Biotecnología, las tecnologías de la Información y las ciencias Cognitivas expresa la confluencia de cuatro elementos fundamentales que constituyen en sí mismos los grandes pilares de las ciencias modernas: átomo, célula, bits y sinapsis neuronal. Así, más que convergencia tecnológica, podría considerarse que se trata de la ciencia *unificada,* como lo afirman reiterativamente Roco & Bainbridgem (a partir de allí, la National Science Fundation ha acompañado de manera sistemática el desarrollo de la convergencia NBIC, a través de 7 reportes publicados entre los años 2003 y 2016).

A lo largo de la corta historia del desarrollo del concepto NBIC, se evidencia que gracias a esta convergencia temas que en el año 2001 eran apenas ideas retadoras, como la nano-info-medicina, la conexión entre prótesis y cerebro o la bioimpresión 3D, hoy están materializadas y en funcionamiento. Otros alcances como la comunicación no invasiva cerebro-cerebro o el estímulo neurológico a nuevos centros de aprendizaje se vislumbran como posibilidades cercanas. La convergencia NBIC abre un horizonte infinito de posibilidades que comúnmente se leen como opciones de mejoramiento del "rendimiento humano". Se trata, entonces, de un reto tecnológico, pero también ético y cultural (Roco y Bainbridge, 2003; Roco, 2016).

Por su parte, el término *Industria 4.0* fue acuñado durante la Feria de Hannover de 2011 para describir la organización de los procesos de producción basados en dispositivos que se comunican entre sí de forma autónoma, induciendo una mutación de la fábrica común a la anhelada fábrica inteligente. La trascendencia de esta nueva forma de producir tiene un efecto global, y por ello se habla de una nueva revolución industrial. El adjetivo 4.0 extiende su aplicación más allá de la industria en áreas como las comunicaciones, la construcción, la agricultura, la medicina, etc. En

todos estos ámbitos, la adopción de tecnologías digitales y su interacción a través de los dominios físicos, digitales y biológicos trae consecuencias sorprendentes sobre la calidad y la productividad. Se reconocen tres grandes activadores de este proceso: los sistemas ciberfísicos, la inteligencia artificial y la impresión 3D (World Economic Forum, 2016; Klaus-Dieter, Wiesner y Wuest, 2017).

A partir de estas definiciones, desde el foco se evidencia la necesidad de que el país mire las NBIC como una base esencial para el desarrollo sostenido de la cuarta revolución industrial. En la Gráfica 0.1 se ilustra dicho esquema.



Gráfica 0.1. Las Tecnologías Convergentes NBIC como base de la cuarta revolución industrial y los cuatro escenarios que potencializan estas tecnologías.

Referencias

Roco, M. C. y Bainbridge, W. S. (2003). Overview converging technologies for improving human performance. In *Converging technologies for improving human performance* (pp. 1-27). Springer, Dordrecht.

Bainbridge, W. S. (2016). *Virtual sociocultural convergence*. Springer International Publishing.

World Economic Forum (2016). The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy forthe fourth industrial revolution. Disponible en http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

Thoben, K. D., Wiesner, S., y Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International journal of automation technology, 11(1), 4-16.*

Objetivo y visión del foco

Comisionados

El objetivo del foco temático de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 es tomar acciones decididas para asegurarle un rol a Colombia en el contexto nacional e internacional en esta nueva revolución industrial, teniendo en cuenta a los colombianos de hoy y de las generaciones futuras; así como generar propuestas para la construcción e implementación de una política pública sólida en Educación y Ciencia, Tecnología e Innovación.

Este objetivo está alineado con el objetivo de la Misión de Sabios 2019: "Aportar a la construcción e implementación de la política pública de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), así como a las estrategias que debe construir Colombia a largo plazo, para responder a los desafíos productivos y sociales de manera escalable, replicable y sostenible".

Por su parte, la visión del foco es incentivar a todos los sectores y actores de la sociedad a participar en la búsqueda de una perspectiva de futuro, que pueda ayudar al país a alcanzar la meta de convertirse en una

sociedad del conocimiento y de la información, desde una economía digital innovadora, ambientalmente sostenible e inclusiva, para las generaciones actuales y futuras. Esta visión está en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El futuro de Colombia en cuanto a productividad, competitividad y sostenibilidad incluye el fortalecimiento y la diversificación de la industria y de la academia actuales, y de los emprendimientos de bienes exportables y servicios de mayor sofisticación, que involucren a nuevas compañías inmersas en la era digital. Por este motivo, para que Colombia asegure una posición en áreas científicas, tecnológicas y de innovación para las tecnologías convergentes e industria 4.0 en el nuevo modelo de economía circular, es necesaria la amplia partipación de la industria, de PYMEs y de grandes empresas; de la academia, desde las universidades y centros e institutos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación; del impulso del gobierno con fondos públicos, de fomento, inversiones no reembolsables y financiamiento competido o concursable; y de una sociedad empoderada, con conocimiento e información accesible y de alta calidad.

Por lo tanto, este foco temático enfrenta e impacta positivamente los tres grandes retos definidos por la Misión de Sabios: *Colombia biodiversa, Colombia productiva y sostenible* y *Colombia equitativa*.

Arquitectura crítica para la oportunidad global

Orlando Ayala

Estamos viviendo los momentos más emocionantes de la historia de la humanidad, pues es el resultado de una convergencia tecnológica y digital a gran escala, que está permitiendo descubrimientos científicos sin precedentes. Su profundidad, velocidad y capacidad para crear nuevas perspectivas está generando avances que transformarán dramáticamente los modelos de negocio, cambiarán la estructura de toda la sociedad y su cultura, y desafiarán el equilibrio geopolítico del mundo. La gran relevancia de estas fuerzas innovadoras reside en su potencial para democratizar su acceso a bajo costo, en beneficio de todas las naciones del mundo, pudiendo así ofrecer a todos los ciudadanos la oportunidad de ser productores netos de conocimiento en beneficio de la sociedad. Esta convergencia revolucionaria hará realidad las visiones que hemos visto solo en las películas de ciencia ficción: mundos virtuales nuevos y mayoritariamente interactivos,

inteligencia artificial que nos ayudará a detectar como nunca los desastres naturales, eventos pandémicos, así como a prever a temprana edad nuestra predisposición a la demencia, sugiriendo cambios en los estilos de vida que nos permitan corregir lo que pareciera inevitable. Todo ello con la ayuda de nuevos biomateriales, plataformas cognitivo/informativas y nano sensores que no necesitarán baterías, pero que aun así estarán navegando dentro de nuestros cuerpos como submarinos, recogiendo y enviando información en tiempo real sobre el estado general de nuestra salud. Estas maravillas del ingenio humano darán paso a la creación de nuevos servicios y modelos de negocio que permitirán, como nunca, un bienestar social inimaginable, mejorar significativamente la calidad general de vida en la tierra y las expectativas de longevidad de los seres humanos, mucho más allá de los 100 años.

Frente a esta inevitabilidad, la pregunta existencial que nos viene a la mente es: ¿qué significa todo esto en el contexto de Colombia? ¿Cómo no dejar pasar esta oportunidad única? ¿Que acciones decididas y contundentes debemos tomar y cómo las hacemos coherentes con nuestro ferviente deseo de asegurar un gran futuro para nuestra nación, más temprano que tarde, y para muchas generaciones venideras?

En un esfuerzo por caracterizar esta oportunidad histórica para Colombia de una manera más precisa, una Arquitectura crítica para la oportunidad global puede ser útil en proporcionar un marco que pueda encajar como una hoja de ruta potencial para el país. No solo para la inversión inteligente, organizada y focalizada, sino también como una taxonomía que podría resultar viable para ayudar a la evaluación (tanto de oportunidades como de barreras) de proyectos críticos a escala, así como para las apuestas estratégicas nacionales con potencial transformador y en beneficio del conjunto de la sociedad.

La estructura de taxonomía propuesta incluye cinco capas horizontales y siete pilares que están diseñados para cruzar verticalmente cada capa. La intención de estos pilares es resaltar las dependencias críticas que deben ser analizadas y evaluadas para determinar dónde se encuentra Colombia hoy; pero más importante, hacia dónde debemos dirigir nuestros esfuerzos y recursos para posicionar un futuro mejor para la nación. Los “verticales”

representan la mayoría de las variables que necesitan una consideración seria y disciplinada para tener éxito y para traducir las palabras habladas y escritas en acciones sostenidas de gran calado transformador. Aunque esta Arquitectura se presenta de manera gráfica al final de este apartado, a continuación, se sigue una breve descripción de esta Arquitectura:

Cinco Capas Horizontales

Que son en su mayor parte (excepto la capa beneficiaria - ver gráfica) elementos de tecnologías y disciplinas relacionadas no solo con la cuarta revolución industrial. También se aplican plenamente a disciplinas convergentes muy importantes de Nano, Bio, Info y Cogno:

- Capa Fundacional: representa la infraestructura digital crítica nacional. Como también las carreteras, puentes, puertos, aeropuertos, redes de energía, etc., de alta calidad, que son necesarios para acelerar el desarrollo social y económico de manera exponencial. Los elementos de esta capa deben ser vistos como poderosos motores necesarios para impulsar seriamente al país a nuevas fronteras de progreso. La siguiente es una lista corta y no exhaustiva:
  - Conectividad de "última milla" asequible y de alta velocidad, tanto rural como urbana, utilizando la onda 5G.
  - Una capa de intercambio de datos del Gobierno que conecte de forma coordinada su información básica institucional, ofreciéndola de forma amplia, transparente, e incorporada en servicios digitales para ciudadanos y consumidores (Estonia es un gran ejemplo).
  - Computación en la Nube y de alto rendimiento (HPC) y *Quantum Computing*.
  - *Blockchain* para permitir modelos operativos y cadenas globales de valor distribuidas, privadas, seguras, completamente fiables y robustas.

- Capa de Identificación Nacional Digital (IND): Colombia debe comprometerse plenamente con una visión e implementación obligatoria de la capa de IND. Esta ha sido una piedra angular para los países que han hecho posible una intención estratégica de avanzar hacia una sociedad digital altamente inclusiva (me vienen a la mente países como Estonia y la India). Este es el "contrato social digital" para hacer realidad los beneficios de la prosperidad de los servicios digitales tanto para los ciudadanos como para los consumidores. Permite esa interacción crítica entre los sectores público y privado, así como con otras entidades, incluidos los intercambios multilaterales con el extranjero. Todo ello con una combinación muy coherente de principios éticos de seguridad y privacidad más allá de la tecnología (políticas públicas modernas).
- Capa de Valor: esta capa aprovecha al máximo los nuevos escenarios tecnológicos habilitados, pero no limitados, a las sorprendentes herramientas de la cuarta revolución industrial, como: Inteligencia Artificial (IA), Lenguaje de Máquina (ML), Realidad Virtual y Aumentada (AR, VR), Lenguaje Natural (NL), Plataformas Robóticas, Internet de las Cosas (IOT), Impresión 3D, Simuladores algorítmicos de Alto Rendimiento Quántico, Analítica Inteligentes de Datos masivo, etc. Se llama *Value Layer* o Capa de Valor porque si Colombia se compromete a desarrollar y retener el talento y permitir el marco de incentivos adecuados para la innovación, todas estas maravillosas herramientas están completamente disponibles para ayudar al país a producir avances asombrosos, que apunten al valor agregado, patentado, exportable y replicable de manera local y global. Este valor se describe brevemente como una gran aspiración en la siguiente capa.
- Capa de Innovación: aquí es donde el verdadero "gran partido" debe ser jugado por Colombia, en un esfuerzo por posicionarla en ese nuevo lugar de la innovación mundial a través de una economía moderna y competitiva. Si las primeras tres capas están razonablemente habilitadas, entonces el objetivo debe ser producir nuevos servicios digitales de alto valor diferenciado, *start-ups*

digitales a escala, nuevos modelos de negocio, etc. Hoy, a escala menor, sabemos que esto es posible, como lo demuestran un par de ejemplos (a los que me referiré mas adelante) de *start-ups* digitales colombianas, y que se acercan a ser ya multinacionales "unicornio" (empresas de más de 1 billón de dólares que son de propiedad privada). En esta capa y aprovechando las descritas anteriormente, deberíamos ver tremendas innovaciones en los escenarios Nano, Bio, Cogno e Info con esfuerzos muy concretos para seleccionar áreas en las que Colombia puede diferenciarse: Manufactura Aditiva, Química Verde (glicerina, el petróleo limpio blanco), Nano Materiales Verdes Inteligentes, Agricultura Transformativa (Café 5.0 del Departamento del Meta), Plataformas Algorítmicas ambientales de *smart data*, etc. Todos son buenos ejemplos posibles de ser potenciales apuestas nacionales a escala y de gran impacto transformador.

- Capa Beneficiaria: ese "gran partido" nos debe llevar a que esta arquitectura proporcione una sólida hoja de ruta que nos lleve a los amplios beneficios y a la movilidad social hacia arriba, y para quienes, en última instancia, estos esfuerzos realmente importan: organizaciones públicas y privadas de todos los tamaños, todas las regiones del país, especialmente los habitantes más vulnerables en las ciudades y zonas rurales, todas las industrias, ciudadanos y consumidores, etc., y en pocas palabras, *todos los colombianos*. Todo ello con la aspiración y determinación de construir una Nueva Gran Colombia ambientalmente sostenible.

Siete Pilares Verticales

La promesa completa de las capas horizontales descritas anteriormente se puede lograr solamente si los siguientes siete pilares verticales son entendidos como palancas críticas para habilitar plenamente la oportunidad y ayudar a la nación y a otras partes interesadas, tanto locales como extranjeras, a

analizar las barreras críticas, y responder, en consecuencia, a la resolución de desafíos fundamentales:

- Recursos Humanos-Desarrollo y Retención: el desarrollo y retención de personas bien preparadas para aprovechar al máximo esta asombrosa convergencia de tecnologías será una de las mayores exigencias para alcanzar el éxito. En las últimas décadas, Colombia ha logrado algunos avances en la graduación de un mayor número de doctores, tanto en ciencias como en otras disciplinas básicas de innovación. Estos profesionales se han graduado en el país y en el extranjero. Algunos de estos talentos han permanecido en el país, pero la mayoría han emigrado a centros de I+D de clase mundial y a las mejores universidades de EE. UU., Europa y algunos países asiáticos. ¿Qué hacer para retenerlos? Si se habilitan proyectos sólidos de transformación nacional e industrial aprovechando las capas horizontales de la arquitectura propuesta y si se hace un gran énfasis en la ciencia aplicada y en modelos de negocio digitales fuertes, tendremos las condiciones adecuadas que no solo retendrán esta experiencia de talento colombiano tan necesaria, sino que también nos permitirán competir por profesionales provenientes del exterior, aportando conocimiento para fortalecer las grades apuestas nacionales científicas y de innovación. Los fuertes programas de ciencias de la computación en las universidades, conectados con la investigación primaria del gobierno y las asociaciones con el sector privado son la piedra angular de muchos de los descubrimientos tecnológicos, productos y servicios realizados por el mundo. Colombia necesita asegurar que graduemos más profesionales de clase mundial en ciencias de la computación y por supuesto también especializados en Nano, Bio, Info, Cogno, aspirando a crear innovación de primera clase. La batalla mundial por estos talentos es feroz y Colombia debe competir por ellos, asegurando que el país cuente con el entorno de innovación adecuado y con la infraestructura digital y científica necesaria para aspirar a una transformación significativa de nuestra economía; una que nos

lleva de la explotación de materias primas no renovables de bajo valor, a ser productores netos de servicios, productos y modelos de negocio escalables, altamente diferenciados y competitivos, basados en el conocimiento, y respondiendo a retos nacionales y globales.

- Transformación del Sistema educativo K-12, universidades e institutos técnicos: desde muy temprana edad, una educación basada en la Ciencia, la Tecnología, la Ingeniería, las Matemáticas y la Innovación (STEM+I) ha sido la mayor apuesta realizada durante muchos años por países que hoy son líderes en innovación, como China y otros países asiáticos que han sido recientemente un gran ejemplo para validar este elemento fundamental de agenda nacional en los respectivos sistemas educativos. Pero además de las ciencias duras, es fundamental combinarlas con el desarrollo de habilidades sociales, empezando por los valores éticos y las humanidades, que deben generar la saludable sociedad y el ciudadano digital del futuro. Además, los planes de estudio deben ser transformados para que sean mucho más propensos a la experimentación y al autodescubrimiento desde una edad temprana. En un país como Colombia, el marco ético es aún más crítico, considerando los difíciles desafíos históricos con los que el país ha vivido durante los últimos cincuenta años.
- Marco Ético y Cultural (política pública): las grandes oportunidades que traerá la cuarta revolución industrial+NBIC, también están creando enormes desafíos éticos en el orden mundial. La importancia de un marco ético para tratar especialmente los temas de seguridad y privacidad llevará a los gobiernos a sus límites, en la necesidad de innovar con políticas públicas viables e inteligentes y acordes con esta irreversible revolución digital. Respuestas ineficaces a estos desafíos entrañarán el riesgo de una fractura amplia y peligrosa del orden social establecido. Cuestiones como la propiedad de los datos y su uso, especialmente en escenarios como el reconocimiento facial, los sistemas biométricos y de salud, los sistemas financieros, etc., serán “bombas de tiempo” sociales si

no se entienden bien y si están mal reguladas. Colombia necesita adelantarse a estos desafíos, especialmente en lo que significan para nuestras realidades locales.

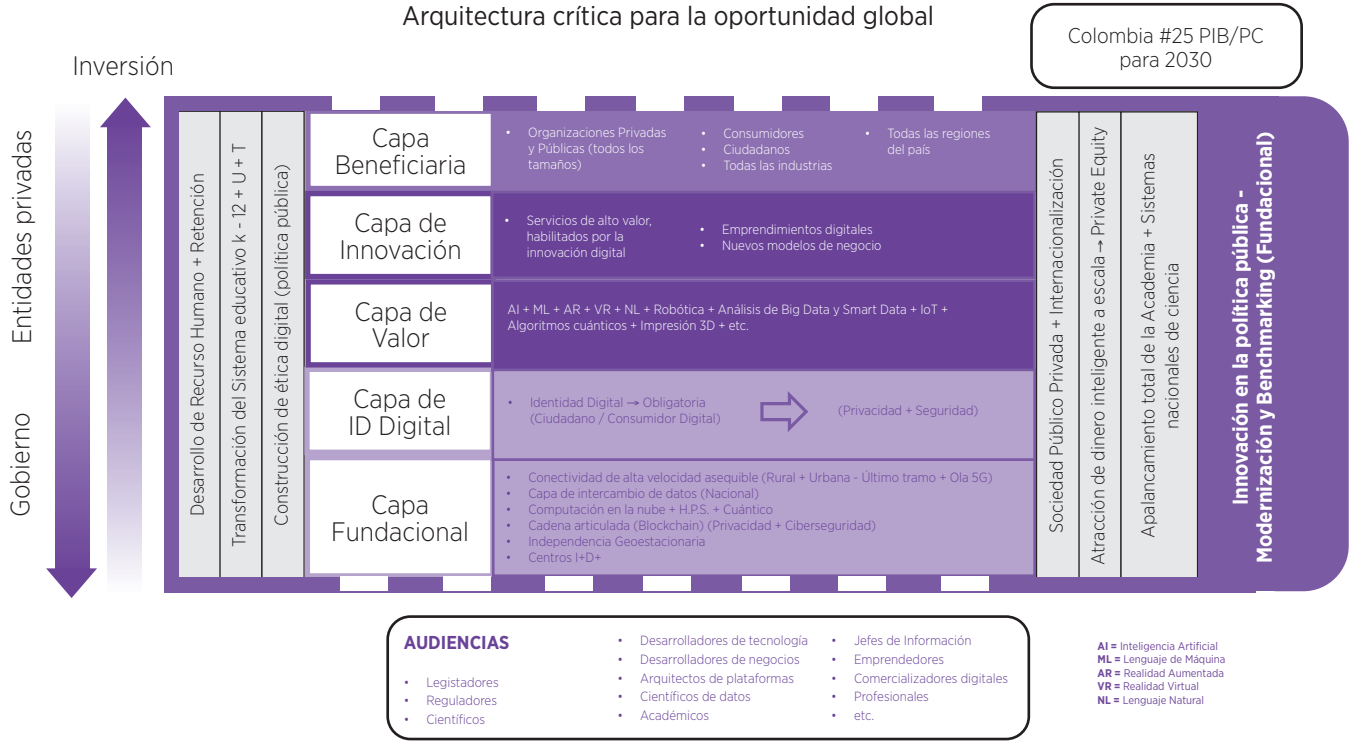
- Alianzas Público-Privadas+Internacionalización: la escala transformadora de potenciales apuestas innovadoras nacionales y proyectos estratégicos posibilitados por tecnologías convergentes requerirá de la conexión de Colombia con redes internacionales de conocimiento y recursos. Las asociaciones innovadoras entre el sector público y el privado han demostrado ser un mecanismo muy eficaz, utilizado agresivamente por los países que han podido dar un gran salto en la transformación de su país en tiempo récord y como gran puente para mover la ciencia básica a la ciencia aplicada. Al agregar recursos financieros y talento en el contexto de visiones y objetivos "gana/gana", estas APPs son un elemento de esta arquitectura que sugerimos deben ser enfocadas activa y sistemáticamente por el Gobierno colombiano, el sector privado, ONG's, multilaterales, etc., como un componente importantísimo de cualquier proyecto que pueda aspirar a contribuir a la transformación de la nación.
- Atracción de dinero inteligente a escala y capital privado: Colombia carece de un ingrediente importante presente en sociedades altamente innovadoras: capital de riesgo, que no solo representa un músculo financiero significativo, sino que también aporta una verdadera experiencia en la materia. Muchos se refieren a ella como "Dinero Inteligente". Este es el trampolín clave para emprendimientos digitales (*start-ups*) basados en innovadores modelos de negocio digitales a escala. Este es otro elemento de la arquitectura que necesita habilitarse con urgencia. Como todos sabemos, el sistema financiero actual del país tiene poco apetito por nuevos emprendimientos digitales, o pequeñas pero prometedoras empresas que navegan en la primera o incluso segunda etapa de desarrollo. Repensar los incentivos financieros para atraer capital de riesgo u otras formas de capital inteligente es un esfuerzo que requerirá la intervención de políticas públicas y

una fuerte voluntad política, dirigida a lograr ese objetivo crucial, mediante la creación de los incentivos adecuados (¿tal vez con una reforma del Código Tributario?, etc.) para hacerlo posible. Entender las lecciones de Fintech y de empresas como Rappi en Colombia y Nubank en Brasil (emprendedor digital colombiano), sería útil para imaginar lo que podría ser posible en términos de oportunidades de innovación con la financiación y la experiencia del desarrollo de negocios adecuado.

- Apalancamiento total del Sistema Nacional Academia+Ciencia: a lo largo de los años, Colombia ha venido desarrollando aspectos importantes de los sistemas nacionales de ciencia, y además cuenta con universidades fuertes que ya trabajan en muchos de los componentes de las capas horizontales propuestas como parte de esta arquitectura. Por supuesto, no necesitamos empezar de cero. En el proceso de establecer una visión transformadora para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación que pueda impulsar verdaderamente al país a ser un día uno de los líderes en tener una sociedad y una economía digital avanzada, debe hacerse un esfuerzo importante para establecer un "inventario" disciplinado y consciente de nuestro punto de partida. Este análisis como línea base debe contener todos los elementos de nuestros actuales sistemas científicos, académicos y de innovación, comparados con todas las capas horizontales y pilares verticales propuestos aquí. Esto para identificar los vacíos y oportunidades que podrían informar bien las inversiones potenciales de todos los sectores de la sociedad.
- Innovación en Políticas Públicas-Modernización-*Benchmarking* (fundacional): como se muestra en el gráfico de la Arquitectura crítica para la oportunidad global que aparece a continuación, el último pilar a la derecha rodea (con un recuadro azul) todos los aspectos de la visión. Esto reconoce el papel fundamental que desempeñará la innovación en las políticas públicas, al crear las condiciones adecuadas para incentivar a todos los sectores de la sociedad en la búsqueda de una visión común, que pueda ayudar a

la nación a alcanzar el sueño de convertirse incuestionablemente en una sociedad con una economía digital muy innovadora y altamente inclusiva, y que aspiremos dejar a las generaciones futuras. Debemos reclutar y desarrollar no solo grandes talentos en las ciencias y las humanidades para acelerar este viaje, sino también asegurar las prácticas más innovadoras (*benchmarking* internacional) y el talento en la formulación de políticas modernas y la legislación que es obligatoria para ver al país emerger como una Nueva Colombia, gran innovadora, inclusiva, ambientalmente sostenible y reconocida mundialmente como tal.

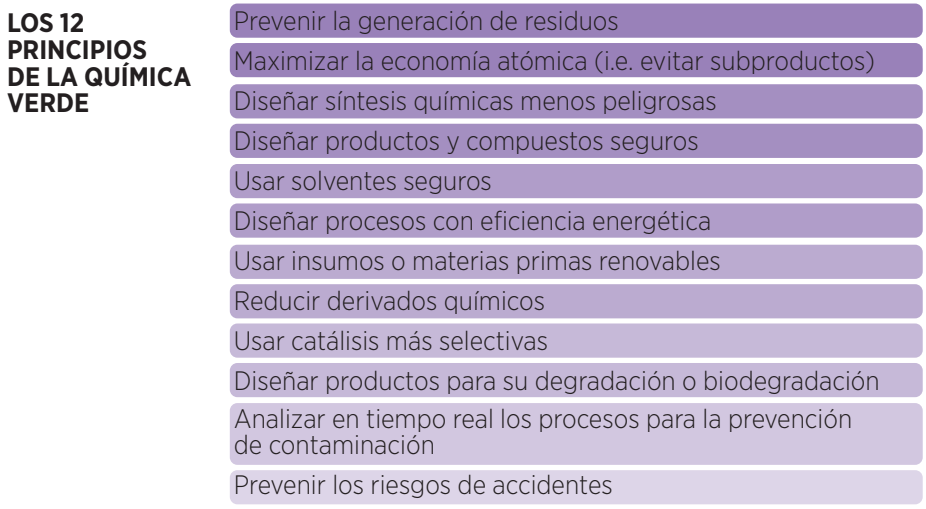
Gráfica 1.1. Arquitectura crítica para la oportunidad global
Fuente: Elaboración propia



La convergencia tecnológica y la química verde

María del Pilar Noriega Escobar

La química verde es uno de los sectores promisorios para la nueva revolución industrial en el contexto de la producción integrada, ya sea a la medida, personalizada o a gran escala, donde se hace uso de la convergencia de tecnologías NBIC y de disciplinas como las ingenierías, química, biología, tecnologías de la información y comunicación. La química verde, también llamada química sostenible, se refiere al diseño de productos, químicos, agroquímicos, renovables y procesos que reducen o eliminan el uso o generación de substancias peligrosas (United States Environmental Protection Agency, 2020; American Chemical Society, 2020). La química verde aplica para el ciclo de vida completo de un producto, desde su diseño, fabricación, uso y disposición final, y por eso la importancia de su desarrollo e implementación.



Gráfica 1.2. Principios de la química verde o sostenible
Fuente: Tomado y adaptado de *American Chemical Society* (2020)

Algunos de los principios de la química verde son: uso de materias primas renovables, diseño de químicos y solventes benignos, diseño para la eficiencia energética, diseño para la degradación, diseño de síntesis más amigables con la salud y el medio ambiente, reducción de subproductos y derivados, prevención de residuos, análisis en tiempo real para prevenir la contaminación y química para la prevención de accidentes.

Colombia es uno de los grandes productores de bioethanol, a partir de caña de azúcar, y de biodiésel (metil ésteres de ácidos de grasos), a partir de palma de aceite. Este campo involucra hoy en día más de 800.000 hectáreas sembradas, 160 municipios y 21 departamentos del país, así como más de 130 alianzas productivas estratégicas (Fedepalma, 2020). Estas plantas de producción de biocombustibles tienen subproductos con alto potencial para la creación de valor agregado en el futuro, tales como la biomasa sólida y líquida, glicerina, posibles biobasados y biopolímeros; así como otros productos derivados, los cuales pueden ser desarrollados por biorrefinerías y que tienen un alto potencial de uso en diversos sectores tales como el de alimentos, cosméticos, farmacéuticos, productos de

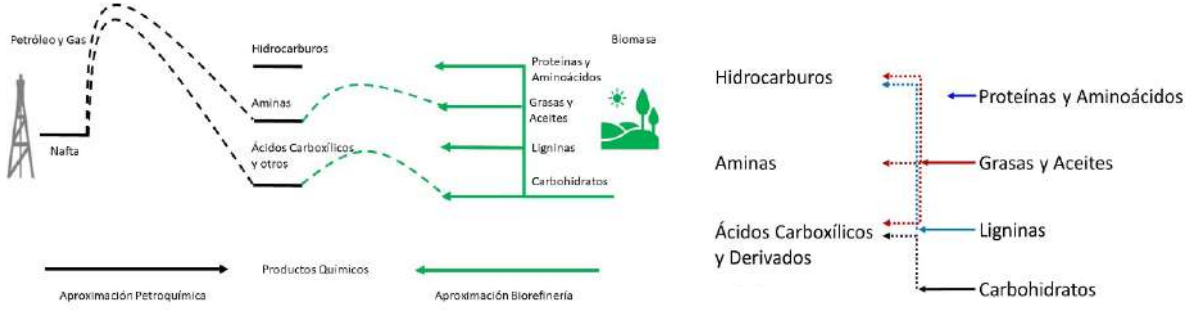
aseo y cuidado personal, polímeros, plastificantes, pinturas, lubricantes, entre otros.

Desde esta perspectiva, dicho sector contribuiría al fortalecimiento del país en diferentes frentes como a una transición energética más amigable con el medio ambiente y a su diversificación del aparato productivo; a la generación de emprendimientos o empresas *start-ups* o *spin-off;* pero también de grandes compañías o grupos empresariales, dependiendo de los mercados y consumidores. Se fortalecerían, además, los clústeres y desarrollos regionales de acuerdo con sus recursos y la economía.

El reto *Colombia productiva y sostenible,* propuesto por la Misión de Sabios, busca, entre otros indicadores, que para el año 2030 se duplique la producción de la agricultura y sus servicios profesionales, científicos y técnicos, a través del aprovechamiento de las tecnologías convergentes e industrias 4.0, así como el suministro de productos y servicios de mayor complejidad, de alta calidad e impacto ambiental cada vez más reducido.

Considerado el estado tecnológico de hoy y sus recursos humanos, Colombia podría convertirse en un líder en el campo de la química verde: creando valor agregado a partir de su reconocida biodiversidad, una economía basada en el conocimiento, la producción sostenible de materias primas agrícolas, las capacidades instaladas actuales y futuras para el procesamiento de la biomasa; así como por las fortalezas y oportunidades generadas a través de las sinergias de las NBIC. Un ejemplo de este potencial es el cultivo de la palma de aceite, el cual produce una biomasa sólida (fibras ricas en celulosa y lignocelulosa), y del aceite de palma, que puede ser transformado en gran variedad de productos, conocidos como oleoquímicos, tales como ácidos grasos, esteres grasos y alcoholes grasos, los cuales pueden sustituir a los producidos a partir de fuentes fósiles sin afectar la seguridad de los alimentos. La agricultura sostenible tiene en la química verde un importante soporte.

Otros ejemplos de cultivos con potencial agroindustrial son los de las oleaginosas, higuerilla y sacha inchi, los cuales generan aceite, nueces, harinas y biomasa sólida. La Gráfica 1.3 ilustra los usos de la biomasa como materia prima energética y ambientalmente más eficiente.



Gráfica 1.3. Química verde: una oportunidad para Colombia
Fuente: Tomando de Sanders *et al.* (2007)

Desarrollo de recurso humano y su retención

Los avances en biotecnología deben ser soportados en Colombia por las ciencias básicas y aplicadas, así como por las ingenierías, que permitan nuevos conocimientos, capacidades, habilidades y transferencias de tecnología en bioquímica, agroquímica, oleoquímica, alcolquímica, entre otras, para la optimización de los sectores agroindustriales e industriales del país.

De otro lado, la biotecnología, al ser parte de la convergencia tecnológica, en conjunto con la nanotecnología (los nuevos materiales) y las tecnologías de la información y comunicación, podrá formar talento humano competente para que el país encuentre retos y oportunidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, tanto en la academia, como en la industria, y muy probablemente, en las instituciones públicas y privadas relacionadas con el desarrollo rural y agroindustrial.

La retención del talento humano calificado se podrá dar por la amplia versatilidad de la química verde y la biotecnología combinadas con sistemas integrados y colaborativos de producción y con plataformas de información y negocios en línea para la pequeña, mediana ("a la medida", personalizados) y la gran escala. Y desde otra perspectiva, la diversificación industrial y los emprendimientos, incluídos *start-ups* y *spin-off,* también generarán una movilidad laboral y empresarial que contribuirá al crecimiento económico del país en el mediano y largo plazo.

Transformación del sistema educativo

Los avances en biotecnología deben ser soportados en Colombia con la modernización de algunas carreras de pregrado existentes o con la creación de nuevos programas de posgrado que los fortalezcan. Internacionalmente ya existe la carrera de Ingeniería química y biología o de Ingeniería química y biotecnología en universidades como, por ejemplo, Wisconsin-Madison (Estados Unidos), Cambridge (Reino Unido), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausana (Suiza).

La modernización del aprendizaje gracias a las nuevas tecnologías y la internacionalización son parte de la transformación del sistema educativo, así como la flexibilización en los currículos *interprogramas* o *intercampus,* que faciliten la formación acorde con los intereses del estudiante y de los mercados que lo demandarán en el futuro. Además, los programas deben enfatizar competencias como la comunicación, la creatividad, la colaboración, la disciplina y el pensamiento crítico.

Esta modernización debe ir acompañada por la creación y transferencia de conocimiento, pues la transformación educativa ocurre también por las oportunidades de aprendizaje, el diálogo y contacto directo entre universidades, centros, institutos y empresas; o por la movilidad de estudiantes, docentes e investigadores hacia las empresas, así como de profesionales de las empresas hacia las universidades.

Ética en la era digital (política pública)

La química verde es una gran plataforma para desarrollar nuevos materiales, productos y aplicaciones que crearán valor y oportunidades para la industria en proceso de diversificación y para las nuevas industrias enmarcadas en la sostenibilidad del país, y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por eso, la biotecnología en la era de la convergencia tecnológica debe conducir al crecimiento económico de un país como Colombia teniendo en cuenta la gestión ética de sus recursos naturales y de la biodiversidad, sin afectar el suministro de alimentos y la salud humana.

Esto requiere políticas públicas y marcos regulatorios que promuevan el uso de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente.

Alianzas entre el sector público y privado y la internacionalización

El sector de la química verde facilita el enfoque "a la medida", personalizado, por ejemplo, de cosméticos, cosmecéuticos y productos orgánicos para el cuidado personal y aseo; así como el de gran escala: glicerina en diferentes grados, detergentes, plastificantes, pinturas, por la diversidad de productos. Aquí los procesos de manufactura robustos con monitoreo remoto, por ejemplo, y el internet de las cosas, serán la clave para la producción integrada y colaborativa.

Se podría pensar en consorcios precompetitivos tipo PPP (*Public Private Partnership)* con la academia, la industria, y aliados nacionales e internacionales, tales como Lurgi, Sulzer, Ballestra, Cremer, BDI, Dow, Ecopetrol, Unilever, Wilmar, Fraunhofer, Cirad, por nombrar algunos.

Atracción de inversión

La química verde es un sector prometedor para las inversiones y para la atracción de capitales nacionales e internacionales que requieren políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) estables y de largo plazo. Estos capitales deben acelerar la transformación de la adopción digital, modernización de la infraestructura y aparato productivo, que son la base de la nueva revolución industrial. Estos también acelerarán la creación de empleos de calidad y mejor remunerados y el surgimiento de nuevos emprendimientos y empresas en Colombia.

Mecanismos para garantizar el acceso al mercado

Para facilitar el acceso al mercado de los productos derivados de la química verde es necesario crear las condiciones que permitan que estos productos puedan ser competitivos frente a los sustitutos fósiles. Por eso es necesario que se creen los mecanismos e incentivos para promover el consumo nacional y la exportación a mercados que reconozcan su valor agregado.

Equilibrio entre la academia y sistema nacional CTI

Las universidades, así como los institutos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, parques tecnológicos y otros actores CTI de Colombia, juegan un gran papel en la química verde y la nueva revolución industrial. Será muy importante identificar las brechas tecnológicas y relaciones entre la universidad, institutos y actores CTI y la empresa, para disminuirlas rápidamente a través de la generación o apropiación de tecnologías existentes, así como de diferentes alianzas, dependiendo de los materiales, procesos y productos involucrados.

Lograr en Colombia la asoaciación de I+D+i con química verde o sostenible, tecnologías limpias e innovación será un elemento diferenciador en los mercados internacionales para impulsar el crecimiento económico del país.

Innovación en políticas públicas – modernización y referenciación

En materia de políticas públicas de innovación se requieren instrumentos y plataformas únicas de información y comunicación para poder alinear los ministerios e instituciones relacionadas con la química verde, la convergencia tecnológica y la nueva revolución industrial. Sería necesario unificar e instrumentar las políticas del recientemnte creado Minciencias con MinTIC, MinCIT, Innpulsa, SENA, PTP y otras instituciones. Se trata

de lograr las innovaciones en el país en un plazo de tiempo más corto a través de una institucionalidad interconectada y eficiente.

Se requieren nuevos reglamentos técnicos y regulaciones para preservar el acceso ético y correcto a los recursos naturales y a la biodiversidad de Colombia. En materia de propiedad intelectual e industrial será importante la implementación de una vía rápida *Fast Track* para el registro y protección de las tecnologías que comprenden química verde o sostenible, biotecnología y su convergencia tecnológica, ya que la evolución tecnológica en esta materia es muy rápida.

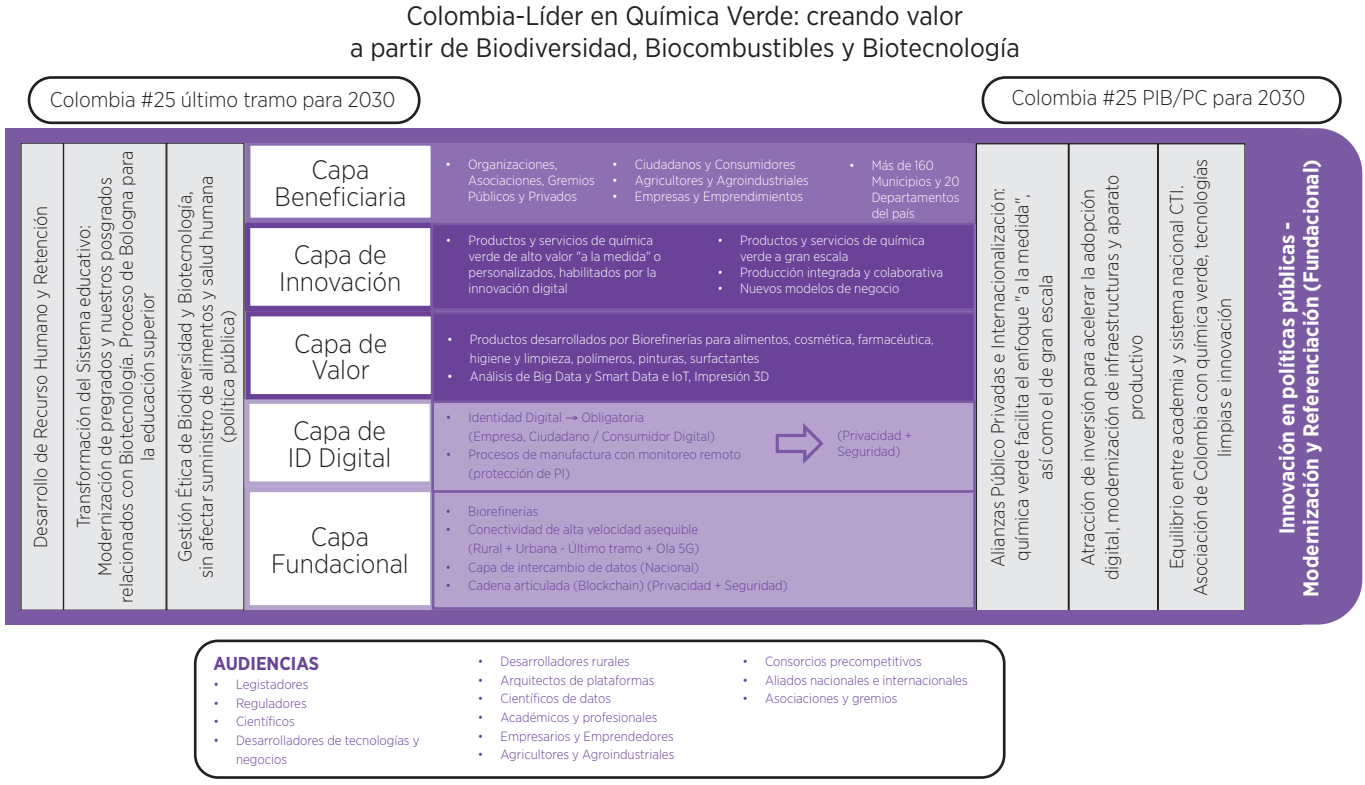
Referencias

American Chemical Society (2020). *Green Chemistry.* Tomado de https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry.html

Fedepalma (2020). *La palma de aceite en Colombia.* Tomado de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografia-palmadeaceite-colombia-2020.pdf

Sanders, J. *et al.* (2007). Bio Refinery as the Bio Inspired Process to Bulk Chemicals. *Macromolecular Bioscience*, *7*(2): 105-117.

United States Environmental Protection (2020). *Basics of Green Chemistry.* Tomado de https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry



Gráfica 1.4. Colombia líder en Química Verde
Fuente: Elaboración propia.

Conectividad y diseño de una plataforma de nanomateriales verdes inteligentes

Jean Paul Allain

La próxima generación de materiales avanzados será verde. Ellos podrán detectar, adaptarse y serán fabricados a gran escala. Colombia tiene una enorme oportunidad en la industria manufacturera de alto valor, aprovechando su biodiversidad y transformando materiales naturales que pueden impactar una amplia gama de sectores industriales, desde el energético hasta el sector salud. Los Nanomateriales Verdes Inteligentes (NVI) tienen la característica única de convertir las tecnologías convergentes NBIC en tecnologías transformadoras que cambiarán la forma en que pensamos sobre el diseño de materiales.

Imagínese poder integrar una membrana flexible biorreabsorbible que ayude a reconstruir las arterias cardíacas defectuosas y a sentir su curación

con el tiempo, eventualmente reabsorbida por el cuerpo. O membranas que puedan responder al contenido específico de impurezas metálicas del agua contaminada para purificarla. Imagínese un material flexible que se integre con el cerebro y sea capaz de orquestar la detección de transtornos neurológicos en tiempo real desde un dispositivo y ayudar a corregirlos. O nanopartículas radioterapéuticas verdes personalizadas a la fisiología del paciente, que permitan detectar las células cancerosas en etapa temprana, que trabajan con el sistema inmunológico del cuerpo. Los NVI también pueden abrir el camino para los materiales cuánticos que son amigables con el medio ambiente y flexibles.

El aprovechamiento de la biodiversidad de Colombia requerirá la transformación de la infraestructura existente tanto en la industria como en la academia. Requerirá innovación en la política pública y la regulación colombiana. Una inversión significativa en centros de excelencia e institutos para que sean capaces de impulsar la investigación y el desarrollo traslacional, conectando a instituciones académicas y al sector privado, acompañados por socios estratégicos de todo el mundo, en el espacio de las NBIC y de las industrias 4.0.

En este sentido, una plataforma tecnológica de NVI aprovecharía el nexo entre la robótica, la tecnología de sensores y las ciencias de la ingeniería cognitiva, todo ello integrado en un nanomaterial ecológico inteligente. El sector de nanomateriales inteligentes para un futuro sostenible está situado en un mercado en crecimiento de más de 100.000 millones de dólares con una CAGR del 12%. Esta plataforma aprovecharía los avances de industrias 4.0 y NBIC para galvanizar el avance del diseño centrado en el usuario y con un valor agregado para innovar los materiales inteligentes del mañana.

Desarrollo y retención de recursos humanos

Las áreas de frontera de los nanomateriales avanzados y la nanotecnología avanzada deben ser apoyadas por un modelo sostenible de investigación básica, aplicada y traslacional, que permita la transferencia efectiva de

conocimientos tecnológicos a sectores industriales relevantes de Colombia. El desarrollo de un recurso humano competente y la retención de este en en el país depende de sólidos programas de posgrado, que no solo capaciten a estas personas en la convergencia de la nanotecnología, la biotecnología y las ciencias de la información, sino que también ofrezcan oportunidades de carrera para un mayor desarrollo e innovación en las industrias colombianas pertinentes. Un sector de investigación y desarrollo robusto, que permita la innovación con implicaciones a corto y largo plazo para el crecimiento económico de la economía colombiana, será fundamental para la retención de los científicos en las primeras etapas de su carrera.

Transformación del sistema educativo K-12-T-U (aprendizaje a lo largo de toda la vida)

El imperativo en Colombia es transformar su sistema educativo para integrar nuevos modos de aprendizaje, además de ampliar su cobertura y proporcionar oportunidades para que una población más amplia reciba una educación que esté equilibrada por el aprendizaje práctico y un enfoque en STEM-A en todos los niveles de la educación. Las tecnologías convergentes como NBIC tendrán un impacto transformador tanto en la integración como en la entrega de la educación. La provisión de actividades de extensión en nanotecnología y biotecnología a través de espacios como la ExpoUniversidad de Medellín, puede ampliarse para proporcionar un alcance más amplio y una experiencia más integradora para todas las edades dentro de la población colombiana.

Construcción de una ética digital (política pública)

Uno de los enormes desafíos para la adopción de una industria biotecnológica robusta e impactante es la adopción de medidas de política pública para asegurar la orientación ética y los principios regulatorios que permitan un motor empresarial y de innovación robusto, al mismo tiempo uno

en el que se respeten y protejan los recursos naturales de Colombia. Este equilibrio debe permitir la adopción de medidas rentables que, al mismo tiempo, mejoren la sostenibilidad de una economía colombiana igualmente robusta. La introducción de la nanotecnología como plataforma para el desarrollo de nanomateriales verdes inteligentes (SGN) abrirá oportunidades de alto valor a través del impulso de prácticas de fabricación que protejan al medio ambiente con un enfoque coherente y sólido.

Asociaciones público-privadas e internacionalización

El éxito de una economía que pueda liderar al mundo en el desarrollo de nanomateriales derivados de la naturaleza dependerá en gran medida de tecnologías escalables que estén respaldadas por una sólida infraestructura de fabricación. Las asociaciones público-privadas permiten realizar inversiones a lo largo de un período de tiempo, superior al de cualquier administración nacional, regional o local específica. Se requiere de un plan estratégico que reúna a instituciones públicas y privadas de renombre mundial para que inviertan juntas en tecnologías verdes, proporcionando así una economía de NVI a escala. Las asociaciones estratégicas que combinan iniciativas de la industria, la academia y el gobierno, y que reúnen a socios internacionales en consorcios precompetitivos (por ejemplo, modelos de SRC y Semitech en los Estados Unidos), pueden incentivar el desarrollo de NVI, la innovación y, en última instancia, la producción de HVM.

Atracción de dinero inteligente a escala - capital privado

La adopción de NVI requerirá inversiones significativas tanto en investigación como en desarrollo. En particular, el desarrollo de la investigación traslacional, que puede identificar tempranamente las brechas tecnológicas, permitirá ciclos de desarrollo más cortos, impulsados por la inversión extranjera y el capital privado estratégico, a fin de mantener la ventaja de valor añadido para los inversores en productos que tienen una propiedad

intelectual robusta, puntos de entrada agresivos en el mercado y en regiones estratégicas del mundo.

Aprovechamiento total de los sistemas nacionales de la academia y la ciencia

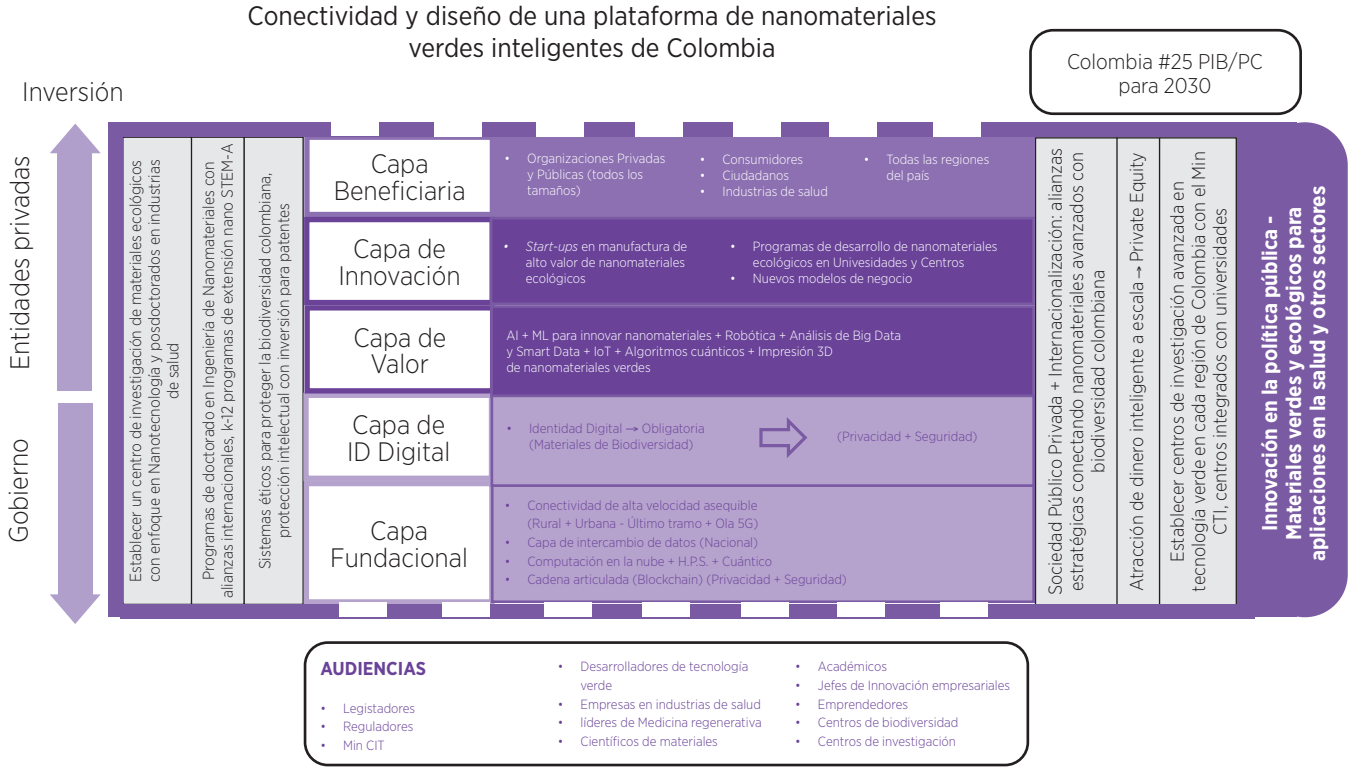
No hay duda del papel que juegan las universidades colombianas en el crecimiento de la economía y, en particular, en el impulso de la innovación. Una inversión significativa y sostenible para cerrar la brecha entre la investigación universitaria y la traducción de los descubrimientos a los sectores industriales es, con mucho, uno de los mayores desafíos para la adopción de las NVIS como una tecnología creíble, en la que Colombia pueda establecer un nicho estratégico y convertirse en un fabricante líder a nivel mundial. Proporcionar a la economía colombiana un marco manufacturero robusto con tecnología verde puede proporcionar a las empresas colombianas factores de diferenciación que les permitan ingresar a mercados altamente competitivos.

Innovación en políticas públicas - modernización y *Benchmarking* (fundacional)

Solo se puede establecer una infraestructura sólida de fabricación avanzada para las NVI si se trabaja en estrecha colaboración con instituciones académicas y gubernamentales para incentivar el establecimiento de colaboraciones multiinstitucionales que apoyen estratégicamente el desarrollo de tecnologías específicas. El corazón y el motor de la innovación es la fuerza de las ciencias básicas aplicadas que se integran en un marco traslacional para escalar tecnologías de alto impacto a la industria. La modernización no solo de las políticas, sino también de una infraestructura que permita la fabricación de nanomateriales inteligentes con sensores integrados, interfaces bioactivas avanzadas y nanocompuestos integrados a escala es fundamental para el éxito.

La convergencia de las industrias 4.0 para permitir el diseño de aprendizaje automático de nuevos NVIS con algoritmos avanzados es otro aspecto del aprovechamiento de las tecnologías de la información en la nanofabricación ecológica. Los sensores avanzados, diseñados para sobrevivir en entornos naturales, también pueden proporcionar conectividad, generando datos sobre entornos naturales (por ejemplo, sensores que proporcionen datos meteorológicos de entornos naturales para informar sobre el crecimiento y el rendimiento de los cultivos), lo que permitirá una productividad más eficiente y eficaz.

Gráfica 1.5. Conectividad y diseño de una plataforma de nanomateriales verdes inteligentes en Colombia
Fuente: Elaboración propia



Colombia, conversión en centro latinoamericano de manufactura aditiva

Tim Osswald

A diferencia de las técnicas de manufacturas tradicionales, la manufactura aditiva funciona sin moldes ni operaciones de extracción de material (fabricación sustractiva). Esto le da al diseñador del producto la libertad de generar piezas huecas o que contengan socavaciones que no pueden existir en una pieza fabricada con tecnologías tradicionales. El proceso de manufactura aditiva comienza dividiendo un modelo CAD en rodajas bidimensionales, que luego se reproducen físicamente utilizando el proceso de manufactura aditiva, donde se imprime una capa sobre otra. Dependiendo de qué tecnología se utilice, las rodajas o capas pueden tener una altura de unos pocos nanómetros a algunos milímetros, que influye en el efecto de escalones en las partes generadas.

La facilidad de generar partes de compleja geometría ha llevado a que la manufactura aditiva sea uno de los principales aceleradores de la nueva revolución industrial en el contexto de la producción digital, accesible a todo el mundo en cualquier lugar del mundo. Después de que las principales patentes se agotaran en el campo de la fabricación de filamentos fundidos (FFF o FDM) y estereolitografía (SLA), se inició el mayor impulso para el uso de sistemas de mesa de impresión 3D en el hogar. Esto también llevó a nuevas ideas e innovaciones, creando nuevas empresas y grandes inversiones de compañías globales en diversas áreas, desde softwares, máquinas y materiales, hasta nuevas aplicaciones e implementación en la industria.

Hoy en día, la fabricación aditiva, o impresión en 3D, ha pasado de ser una herramienta para fabricar prototipos industriales a ser un proceso de producción en serie utilizado en las industrias aeroespacial y automotriz. La manufactura aditiva también ofrece un cambio en el paradigma de produción industrial y comercial, donde todos pueden tener acceso y la capacidad de diseñar y fabricar un producto o una pieza de repuesto, o incluso un prototipo de una invención sin depender de grandes corporaciones. Dicha tecnología estará disponible para cualquier persona, desde las que se encuentran en las áreas urbanas hasta aquellas ubicadas en las regiones más remotas de Colombia.

En los campos de ciencia y tecnología, las áreas que impulsarán la próxima generación de equipos y aplicaciones AM incluyen: (1) avances en el control y la supervisión de procesos para asegurar que las tecnologías AM sean alternativas viables de producción; (2) desarrollo de nuevos métodos para medir y modelar el proceso (sombras digitales) y para cuantificar las interacciones entre el material y la tecnología de procesamiento, con el fin de comprender mejor la relación entre el material, el proceso y la estructura; (3) establecimiento de nuevas normas para apoyar la representación, presentación y evaluación de los datos de fabricación, con el fin de garantizar la calidad y reproducibilidad de los componentes; (4) ampliación de los esfuerzos de investigación para establecer las mejores prácticas de aplicación de las tecnologías de cómputo a la manufactura aditiva, incluyendo la simulación y el aprendizaje de máquinas.

Desde el punto de vista de los recursos humanos y tecnológicos y la existencia de grandes universidades, así como la red tecnológica del SENA, Colombia no solo está preparada para entrar en este campo con toda su fuerza, sino también para convertirse en el líder de la manufactura aditiva en América Latina.

Desarrollo y retención de recursos humanos

Las universidades colombianas, públicas y privadas, producen algunos de los mejores estudiantes de posgrado contratados por universidades estadounidenses y europeas para realizar sus estudios de maestría y doctorado. La mayoría de estos jóvenes científicos e ingenieros permanecen en el extranjero, lo que resulta en un drenaje crítico de la energía cerebral, conocido en Colombia como "diáspora intelectual". Dado que la fabricación aditiva ha cambiado completamente el paradigma en el diseño y la producción, hoy ofrece una plataforma que atrae a los jóvenes que están deseosos de entrar en este campo. Un campo de la fabricación aditiva saludable y en crecimiento, con una sólida ofreta de programas de posgrado y un fuerte sector de investigación y desarrollo, ofrecería oportunidades a los graduados y posgraduados, y les permitiría permanecer en Colombia y ayudar al país a convertirse en el centro latinoamericano de la fabricación aditiva.

Transformación del sistema educativo - K-12-T-U (aprendizaje permanente o *Lifelong learning*)

Debido a su simplicidad y bajo costo, las plataformas FFF se prestan para ser introducidas en el sistema educativo de K-12 desde el principio y fomentar el aprendizaje práctico. El Ministerio CTI de Colombia, en colaboración con el Ministerio de Educación, puede crear un plan de estudios STEM-A a nivel nacional donde la fabricación aditiva pueda servir como una de las bases, no solo para alentar y entusiasmar a los niños con la ciencia, la

tecnología y el arte, sino también para enseñar los principios básicos de la ciencia, la física, la química, las matemáticas y la ingeniería.

Además, una capa fundacional que incluya conectividad de alta velocidad rural y urbana serviría para interconectar el sistema educativo con software de código abierto, permitiendo un sistema estandarizado a través de un repositorio nacional que almacene modelos de archivos CAD de los miles de elementos diseñados por los usuarios en escuelas, escuelas de formación profesional y universidades. En las zonas rurales, los centros de impresión de 3D de las escuelas pueden servir como tiendas donde los adultos pueden fabricar piezas de repuesto para sus necesidades domésticas.

En este contexto, las universidades colombianas que actualmente realizan investigación y desarrollo en el campo de manufactura aditiva servirán de modelo para otras instituciones de educación superior. Algunas universidades que tienen tales programas son la Universidad de los Andes, la Escuela Colombiana de Ingenieros y la Universidad Nacional de Colombia, con áreas de investigación que van desde nuevos materiales, sistemas reforzados de fibras naturales, sistemas rellenos de arcilla y aplicaciones biomédicas de fabricación aditiva. La Universidad Autónoma de Occidente ha creado su propio espacio de creación (*Makerspace)*, que también puede servir de modelo a otras instituciones.

Construcción ética digital (política pública)

Con una red de fabricación aditiva en todo el país puede producirse un abuso del sistema. Es preciso aplicar y hacer cumplir una política pública y un sistema normativo que fomente los principios éticos para detectar los abusos del sistema y proteger la propiedad intelectual. Un sistema de identificación digital obligatorio y una red de computación en nube avanzada, con un motor de inteligencia artificial que identifique los abusos de los sistemas, asegurará que las infracciones se minimicen o se eviten por completo. Además, la implementación de una política pública de propiedad intelectual (PI), que se alinea con el derecho internacional de PI, es extremamente importante para esta misma. Esta política de PI no solo

es fundamental para fomentar la innovación, sino también para atraer a inversores privados y públicos de países extranjeros.

Asociaciones público-privadas e internacionalización

Una fuerza laboral altamente capacitada, desde técnicos a ingenieros, químicos y científicos de materiales, no solo atraerá inversiones de corporaciones globales e instituciones públicas, sino que servirá como catalizador para la invención de nuevas técnicas de manufactura aditiva, propiedad intelectual y empresas nuevas dentro de Colombia. Los sistemas colombianos de manufactura aditiva, producidos por los colombianos para los colombianos y el mundo, se utilizarán para poblar el sistema escolar, las universidades y el SENA, así como los hogares colombianos de las zonas urbanas y rurales. Las empresas colombianas en área de manufactura aditiva de reciente creación, como Protolab 3D, que ha desarrollado boquillas FFF para aplicaciones de alta temperatura, PMTec, que utiliza equipos de última generación y se sitúa a la vanguardia de las aplicaciones, y Bogohack, que es productor de filamentos de ABS, deben ser incluidas en estos esfuerzos. Otras empresas nuevas irán surgiendo con una creciente fuerza laboral educada en la tecnología AM. Nuevos materiales hechos con la propia química verde biobasada de Colombia pueden producir nuevos acrílicos biobasados y epoxis para las técnicas de manufactura aditiva de polimerización VAT, tales como SLA y CLIP. Esto no solo atraería la inversión de instituciones privadas como CARBON, FormLabs, 3DSystems, BASF y SABIC, sino también de instituciones públicas como el sistema de Instituto Fraunhofer para Tecnologías Químicas (ICT) de Alemania.

Atracción de dinero inteligente a escala - capital privado

La implementación de una red de manufactura aditiva a nivel nacional requerirá importantes inversiones, tanto en investigación como en desarrollo, para instituciones académicas e industriales. Un sistema educativo

fuerte de K-12-T-U producirá una mano de obra y cerebros calificados que alimentarán y fomentarán la innovación. Con una política pública transparente, la fabricación aditiva y las oportunidades que ofrece será la plataforma perfecta para atraer dinero inteligente a escala de inversionistas privados colombianos y extranjeros.

Aprovechamiento total de los sistemas nacionales de la academia y la ciencia

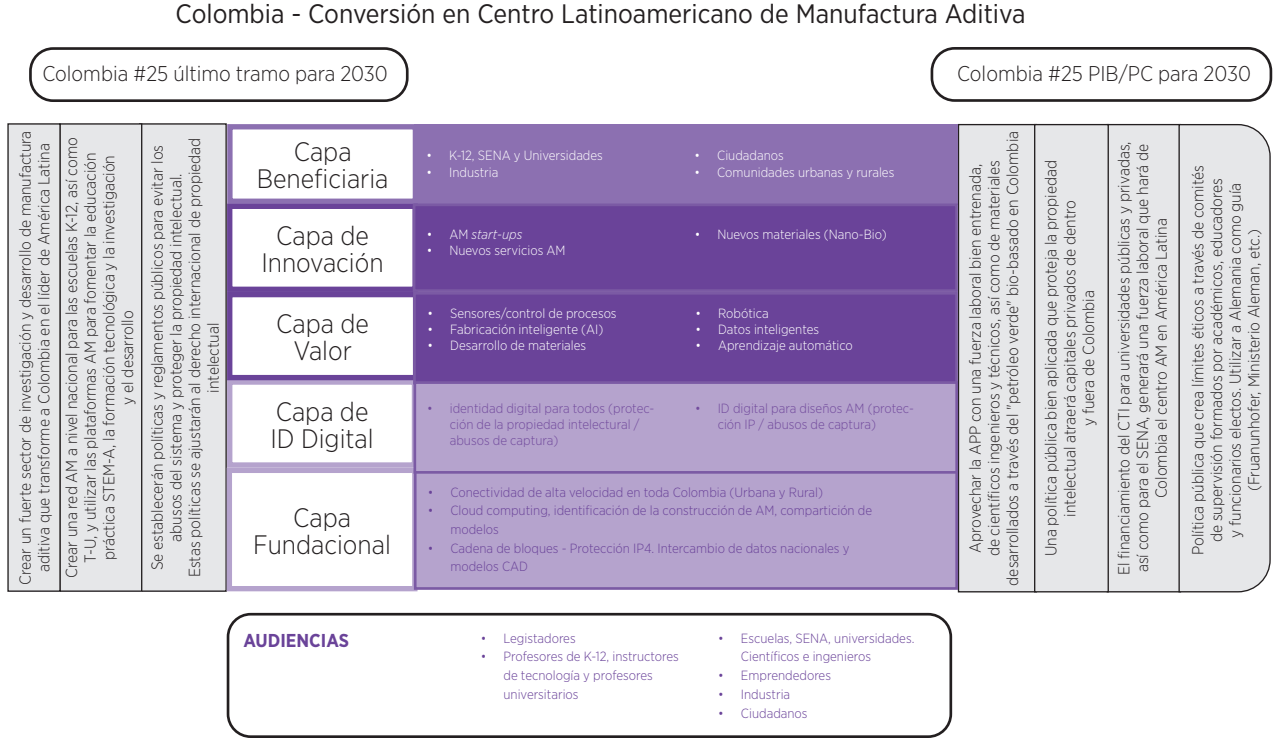
Las universidades públicas y privadas de Colombia, así como el sistema SENA en todo el país, producen mentes jóvenes altamente calificadas, con conocimientos suficientes en ciencias de los materiales, fenómenos del transporte, física, matemáticas y tecnología para impulsar esta industria. La financiación pública del CTI a estas instituciones hará que esta fuerza laboral alcance el nivel más avanzado de la manufactura aditiva, porque la industria de manufactura aditiva está todavía en su infancia, y porque la técnica de fabricación aditiva que se utilizará en las próximas décadas no ha sido inventada. Este es el momento apropiado para que un país emergente como Colombia entre con toda su fuerza, haga un impacto y se convierta en el centro latinoamericano de la manufactura aditiva.

Innovación en Políticas públicas - modernización y *Benchmarking* (fundacional)

Una red nacional de fabricación aditiva integrada debe estar vinculada a una política pública bien pensada para garantizar los límites éticos apropiados. Deben crearse comités de supervisión de políticas públicas integrados por académicos, educadores, así como por funcionarios gubernamentales electos y designados. Esto no solo garantizará la igualdad de acceso de los centros de fabricación de aditivos a todos los colombianos, desde los centros urbanos hasta las zonas rurales remotas, sino que también garantizará la protección de la propiedad intelectual y creará un marco de supervisión

Gráfica 1.6. Colombia, conversión en Centro Latinoamericano de Manufactura Aditiva.
Fuente: Elaboración propia

ética. Todo esto es imperativo para que Colombia atraiga a inversionistas locales y extranjeros. Colombia tendrá que analizar las prácticas de otros países que han implementado sistemas como los institutos Fraunhofer y Max Planck en Alemania, y los Laboratorios Nacionales en los Estados Unidos.



Capítulo

dos

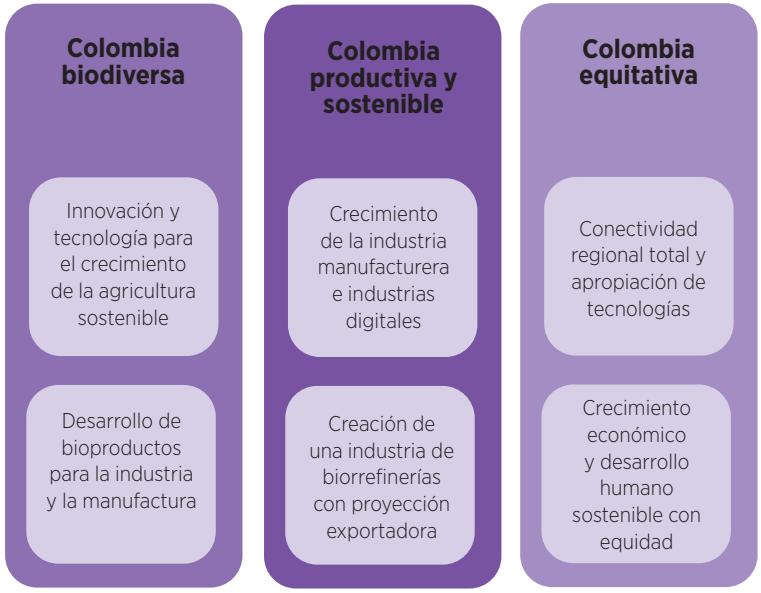
Convergencia tecnológica: reflexiones y articulaciones

La convergencia tecnológica y los grandes retos de la Misión de Sabios

María del Pilar Noriega E.

Las tecnologías convergentes y las industrias 4.0 contribuyen a los tres retos planteados por la Misión de Sabios: *Colombia biodiversa, Colombia productiva y sostenible,* y *Colombia equitativa,* en cuanto a crecimiento económico, sostenibilidad ambiental e inclusión social, tal y como lo ilustra la siguiente gráfica.

Las tecnologías de propósito general modernas, según estado del arte o de la técnica, y de carácter transversal, soportan los tres retos de la Misión y permiten aprovechar esas oportunidades comparativas en recursos naturales, de tal manera que pueden asegurar grandes ventajas competitivas para el país en los mercados de bienes y servicios de alto valor agregado en el ámbito global.



Gráfica 2.1. Relación entre las temáticas del foco y los retos de la Misión de Sabios
Fuente: Elaboración propia

El crecimiento económico y avance en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son condiciones necesarias para el logro de los tres retos y sus respectivas misiones en un horizonte al año 2030. Por tal motivo, se busca incorporar conocimiento, aprendizaje y tecnología en todas las actividades productivas como motores de desarrollo económico, innovación e inclusión social.

Carbon-Free Energy *at Scale* and Its Impact on Climate Change Adaptation and Mitigation

Jean Paul Allain

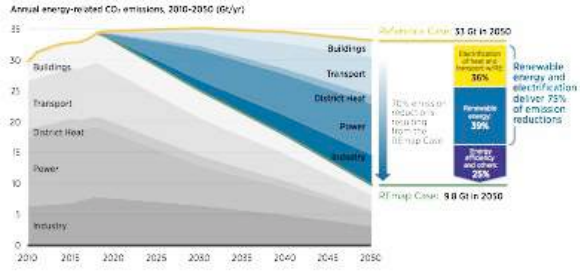
The impact of carbon-free energy *at scale* in Colombia is governed by several factors in its energy production sector that promises rapidly growing renewable technologies. One of the greatest challenges to climate change and adaptation in Colombia is its intrinsic dependence on hydroelectric power, which generates around 68% of the country's electricity, totaling nearly 12 GW of total installed capacity (ProColombia, 2015). The remaining electricity production comes from fossil fuel-based technologies including Fuels (8%, 1.4 GW), Gas (13%, 2.2 GW), and Coal (8%, 1.3 GW). Coal capacity increased from 990 MW to 1,343 MW in six years (2010–2016) while, in comparison, renewables using Wind had no growth during that same time remaining only at 0.1% of the total energy matrix

with 19 MW total capacity. Although Colombia's carbon-free footprint energy capacity remains high, it is dependent on its hydroelectric power generation, which can be sensitive to climactic changes (e.g., El Niño, La Niña climate effects). In the next few decades Colombia's hydropower generation may be vulnerable to climate change and could lose its dominant share of energy production (Arango-Aramburo *et al*. 2019). Nevertheless, even with Solar PV installation accounting for only about 6 MW (off-grid), and with plans for another 10 MW, Colombia has promising potential capacity for wind and solar in the next few decades, with some possibilities of the two reaching 30% of energy production by 2030. However, there remain some important challenges to renewable energy generation at scale.

The Guajira Peninsula in northern Colombia represents the most significant Wind power capacity development with wind regimes that average 8–10 m/sec classified as Class 7 winds ideal for energy production. The regions of Bolívar, Atlántico, Norte de Santander, and Cesar, have average winds of 5 m/s intermittently throughout the year. Plans to increase total wind energy production with a wind farm of 200 MWe is set to open by 2023 by EPM (Empresas Públicas de Medellín). Colombia also has one of the most untapped solar power resources in Latin America given its geographical location near the equator; having nearly 2,200 kWh/m^2/year solar radiation available. However, the connectivity of La Guajira wind farm and solar power to the Colombian electrical grid remains difficult with a lack of large-scale transmission connectivity. A $174M transmission line is under construction and the timeline could address some of these shortcomings in the next decade opening the possibility for the credible impact of renewable energy.

The intermittent nature of wind and solar, lack of advanced battery technology, and access to grid infrastructure remain significant challenges for renewable energy to meet baseload power demand in Colombia soon. Between 1996–2013 Colombia's largest demands for energy were the country's central regions with an average of 12,120 GWh, followed by the northwestern region averaging at 7,657 GWh. Demand in those regions will increase in the next half-decade by 2024 to about 18,536 GWh and 9,6251. With this increased demand for energy generation, over 25%–50%

estimated in the next decade, more than a total of 4–6 GW increase will need to be generated including more than 68% from manufacturing and mining sectors. Therefore, renewable energy sources will have to increase their total power capacity by more than 40%. To meet this intense demand solar energy farms would require more than 6,000 hectares (Ong *et al., 2013)* while wind farms up to 70,000 hectares of total wind power area (TWPA) (Delholm *et al.,* 2009). With this extreme land-use, territories that are ecologically vulnerable could severely limit the scale of renewable energy power generation. This is one of the most challenging issues with relatively mature renewable technologies. Although pricing for wind and solar have become more affordable, the inherent demand for physical footprint and intermittent nature of operations result in a limited source of clean carbon-free energy. Moreover, the power generation for electricity demand only addresses about a third of global energy consumption. Energy needs regarding transportation will have greater demand from the manufacturing and mining sectors as Colombia's economy continues to grow.



Graphic 2.2. Annual energy-related CO2 emissions and reductions, 2015-2050 (Gt/y)[5]
Source: IRENA (2019)

Therefore carbon-free energy sources that eliminate greenhouse gas emissions, and are versatile (e.g., compact, portable, low land-use, and electrical grid-free) and low cost will be essential to enable emerging economies to mitigate and adapt to the increasing challenges of climate change. A study presented at 2019's G20 summit referenced three cases. In the "current trajectory" scenario (e.g., with no significant increase in renewables) CO_2 cumulative emissions could reach 1,700 Gt from

2015–2050 resulting in a global warming temperature increase of 3°C. To meet the aims of the Paris Agreement, energy-related CO2 emissions would need to be scaled back by at least an additional 400 Gt by 2050 compared to the Reference Case; in other words, annual emissions would need to be reduced by around 3.5% per year from now until 2050 and continue afterward with most coming from 70% emission reductions (Gilen 2019). For Colombia and other emerging economies, this would require innovative technological and policy breakthroughs to enable a sustainable future of clean energy to minimize impact on global warming. This means innovation in electrification infrastructure and the impact of Industries 4.0 and digital technologies on smart grid advancements (*World Energy Outlook,* IEA, 2018). Thus, enabling the electricity transformation increasing final consumption leveraging carbon-free energy to impact total power consumption.

Nuclear power can make an important contribution in reducing greenhouse gas emissions while delivering energy in the large quantities needed for global economic development[5]. Nuclear power plants produce virtually no greenhouse gas emissions or air pollutants during their operation and only very low emissions over their full life cycle (Ong *et al,* 2013; Buongiorno *et al.*, 2018). There is increasing agreement that to fight climate change and to do so with a credible, carbon-free, and *scalable* energy source, complementary energy generation to traditional renewables will be needed. Nuclear power has historically been able to generate over 10 TW of electrical power in the past four decades and remains the cleanest, safest, and most scalable source of energy worldwide (Marcus *et al.,* 2019). This has resulted in close to 68 Gt of CO_2 emissions avoided from nuclear power from 1970–2015 compared to 90 Gt of CO_2 from hydropower and 10 Gt CO_2 from renewables for the same period. Even with the limited energy demand increases in the next few decades in Colombia compared to rapidly growing economies such as China and India, scalable and carbon-free energy sources will be critically needed.

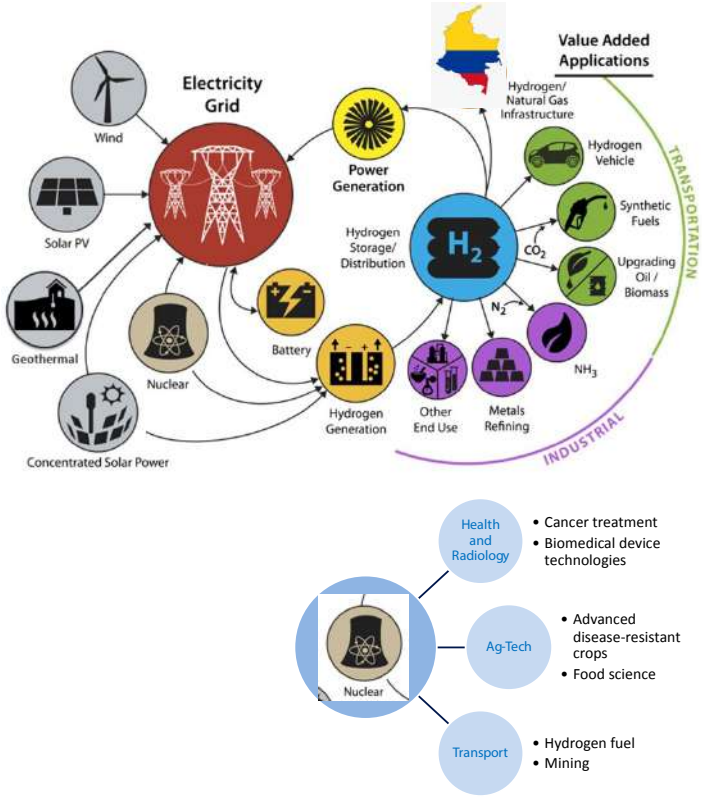
Advanced nuclear technologies are opening significant opportunities in providing safe, clean, high-duty cycle, and scalable energy generation. Some significant breakthroughs in the design of well-known compact

and small nuclear reactorsfrom the 1960s are enabling the new nuclear movement. Molten salt reactors that use fast neutrons are inherently safe and pose no proliferation concerns. There are significant benefits from the use of advanced molten salt fast reactors. First, these reactors can consume spent nuclear fuel and weapons waste transforming them into useful energy. Second, as opposed to conventional thermal water-based nuclear reactors, there is no need for component replacements. Third, reactors are passively safe given the use of molten salt that incorporates the fuel, the contents of the reactor can be drained if a temperature limit is exceeded. Fourth, power is scaled with economies of scale enabling the use of either compact, small reactors or larger baseload reactors depending on the energy demand. Additionally, compact advanced reactors such as microreactors or small-modular reactors that provide anywhere from 25 MWe up to 300 MWe (50–5000 MW thermal) are significantly smaller (equating to half a soccer field) and provide up to 1 GWe of power that could transform small to large populated communities depending on the energy demand. Given they are compact and self-operating they can function off-grid and be used for significant industrial energy demands or steam powered applications, including ocean water desalination and sewage cleanup. These technologies are advancing at a rapid pace given significant expertise in both the energy and defense sectors that have operated compact and small nuclear reactors for decades (e.g., U.S. naval fleet and aircraft carriers). Another important aspect of advanced nuclear reactor design is that they are built underground to prevent malicious attacks. Additionally, due to the unique fuel design that uses ionic chemical bonds to fission products and natural freezing of leaked salt eliminates any radioactive release possibilities.

Advanced nuclear technologies not only include the innovation of small fission reactors but more recently have also focused on the use of advanced compact magnetic thermonuclear *fusion* designs. Close to $1B investment in entrepreneurial activities from both large corporations, like Lockheed Martin, and small to medium-sized startup companies are working on the next-generation compact nuclear fusion reactors. These reactors would use seawater as fuel or boron-based fuels, which are plentiful and non-proliferating converting them to 10–30 MWe of electrical power.

These designs could provide a platform for advanced nuclear technologies combining both fission and fusion to enable diverse and sophisticated sets of energy generation that can complement renewable technologies.

Beyond nuclear power, nuclear technology plays an important and positive role in society, such as monitoring pollution, and assisting in the diagnosis and treatment of cancers and other diseases. Additionally, radiation technology helps prevent food from spoiling and create new crop varieties that are resistant to damage, which supports climate change adaptation. Advanced nuclear technologies can be used to generate hydrogen and provide an alternative, renewable energy source for transportation.



Graphic 2.3. Holistic approach at a mixed-energy source approach for carbon-free, clean energy generation that combines Wind, Solar PV, Geothermal, Solar Power, Nuclear for power and hydrogen generation serving industrial and transportation sectors of the economy (left graphic adapted from the U.S. DOE strategy for "hydrogen at scale" initiative, 2017).
Source: Left graphic adapted from the U.S. DOE strategy for "hydrogen at scale" initiative, 2017

Given that Colombia is divided by three primary mountain ranges resulting in several isolated populated areas, the promise of non-proliferating inherently safe nuclear technologies could transform the country's energy sector. Together with compact advanced nuclear technologies, this can provide a holistic approach to energy generation for a sustainable and prolific energy future (see Graphic 2.3) (Department of Energy H2@Scale Project, 2017). As with the case for renewable energy in Colombia *at scale*, nuclear applications will face formidable challenges requiring innovations in public policy, establishing regulatory practices, and adapting advanced nuclear technologies that enable its deployment. With the advent of "Atoms for Peace" by President Eisenhower in the 1950s and the research nuclear reactor in Colombia, nuclear is not foreign to its energy roots. Colombia's socio-political landscape and public opinion will remain either saboteurs or enablers of leveraging nuclear power as one of several carbon-free energy sources to the renewable energy portfolio.

References

Arango-Aramburo, S. *et al* (2019). Climate impacts on hydropower in Colombia: A multi-model assessment of power sector adaption pathways. *Energy Policy*, (128): 179-188.

Buongiorno, J., M. Corradini, J. Parsons, D. Petti *et al*. (2018). *The Future of Nuclear Energyin a Carbon-Constrained World*. An Interdisciplinary MIT Study.

Delholm, P. *et al.* (2009). *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States.* NREL Report NREL/TP-6A2-45834.

Department of Energy. (2017). *H2@Scale Project*.

Gilen, D. *et al.* (2019). The Role of Renewable Energy in the Global Energy Transformation. *Energy Strategy Reviews*, (24): 38-50.

IRENA (2019). *Climate Change and Renewable Energy: National policies and the role of communities, cities and regions (Report to the G20 Climate Sustainability Working Group (CSWG)*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Marcus, G. H. (2019). Nuclear power around the world. *Nature Reviews Physics*, 1(3): 172-173.
ProColombia (2015). *Electric Power in Colombia: Power Generation*. Available in https://stanford.io/3ocnyRZ
Ong, S. *et al*. (2013). *Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States*. NREL Report NREL/TP-6A20-56290.
World Energy Outlook (2018). International Energy Agency, OECD/IEA, Executive Summary.

La investigación aplicada y el Modelo Fraunhofer

Dr. rer. nat. Markus Eisenhauer
Fraunhofer FIT, Sankt Augustin, Alemania
María del Pilar Noriega Escobar

La Sociedad Fraunhofer es un motor alemán e internacional de innovación. Lleva a cabo investigaciones aplicadas de amplio beneficio para la sociedad y de reconocida utilidad directa para las empresas públicas y privadas, sector servicios y administración pública. Al ser Fraunhofer un modelo probado de investigación, desarrollo e innovación durante los recientes setenta años, es un posible modelo a seguir en Colombia. Tan es así, que el lema de la Sociedad Fraunhofer es *Approximavit sidera* (Nos acercó a las estrellas).

En el año 2018 la sociedad tenía 26.600 empleados, 72 institutos y unidades de investigación con un volumen de negocios anual de €2.600 millones, con sus principales inversiones en infraestructura, gastos de

capital e investigación. La investigación por contrato ascendió en este año a €2.200 millones. De esta suma, más del 70% se derivó de contratos con la industria y de proyectos de investigación financiados por el sector público. Además, casi el 30% es aportado por los gobiernos federales y estatales de Alemania.

El Dr. Joseph von Fraunhofer (1787-1826), originario de Baviera, científico, inventor y exitoso empresario, fue uno de los investigadores más importantes en la historia de la tecnología. Trabajó como físico, óptico y director de producción de vidrio para microscopios y telescopios en el Instituto Matemático Mecánico en la Alta Baviera. Creó instrumentos ópticos y telescopios astronómicos de alta calidad, previamente desconocidos, y solicitados en todo el mundo. Investigó la capacidad refractiva del vidrio y la difracción de la luz.

La Sociedad Fraunhofer toma su nombre de este investigador, inventor y empresario. Como investigador, descubrió las *Líneas de Fraunhofer* en el espectro solar. Como inventor, desarrolló nuevos métodos para el procesamiento de lentes. Como emprendedor, fue director y socio de una cristalería. El paralelo del investigador, inventor y empresario con la Sociedad Fraunhofer se da en el campo de la investigación donde la sociedad realiza investigación y desarrollo con el apoyo de las industrias y del Estado. El formato musical mp3, el LED blanco, la cámara térmica de alta resolución son algunos de los inventos de esta institución.

La concepción de calidad superior a lo esperado y una curiosidad estructurada con un fin más allá de su tiempo forman el *Leitmotiv* o el hilo conductor del Modelo Fraunhofer. Un espíritu de calidad sobresaliente, logros empresariales notorios por la demanda de sus productos y curiosidad científica unida al uso de sus propios instrumentos lleva a descubrimientos que atraen sobre sí misma la atención. El Modelo Fraunhofer nace del reconocimiento y la necesidad de promover la investigación aplicada por medio de un vínculo directo y permanente entre industria y ciencia a principios del año1950.

Esta orientación de los institutos Fraunhofer basa su lugar firme en el panorama científico con el apoyo a proyectos de investigación con fondos obtenidos de la industria y el establecimiento de sus propios institutos. Los

ocho grandes campos de investigación son: ciencias de la salud, tecnologías de la información y comunicación (TICs), microelectrónica, óptica y superficies, producción, materiales y componentes, defensa y seguridad e investigación para la innovación.

Las alianzas de investigación con los institutos Fraunhofer se encuentran en las siguientes áreas: adaptrónica, ambientes de vida asistidos, manufactura aditiva, baterías, *big data,* computación en la nube, medios digitales, construcción innovadora, estructuras esbeltas, tecnologías limpias, energía, nanotecnología, biotecnología, bioeconomía, administración de la cadena alimentaria, superficies poliméricas, simulación, transporte y tráfico, sistemas de agua, textiles inteligentes, entre otras.

Con relación a la biotecnología y a la bioeconomía, la demanda creciente de productos biobasados crea nuevos retos para la economía alemana; y genera preguntas sobre la seguridad alimentaria, protección ambiental, cambio climático y escasez de recursos. Los impactos de la transformación bioeconómica involucran temáticas como el consumo sostenible o las estrategias de poscrecimiento.

Además, la Sociedad Fraunhofer cuenta con aproximadamente 30.000 patentes y 7.000 familias de patentes que abarcan la mayoría de las áreas de investigación, y posee un estimado de 180 acuerdos marco de propiedad intelectual con universidades. Precisamente, uno de sus logros es hacer evidente el reconocimiento de la sociedad como representante de la investigación aplicada en el ámbito político.

Por lo anterior, realizar investigación y desarrollo con sus propios medios es condición necesaria para afirmarse como actor relevante en el campo de la investigación aplicada. El conjunto de institutos Fraunhofer encontró en el resultado de esta actividad el Modelo Fraunhofer, que también proporciona financiación básica basada en el éxito, la clave para evolucionar, conformar el sistema nacional alemán de innovación, ser apoyo de la economía de Alemania y lograr un crecimiento sin precedentes.

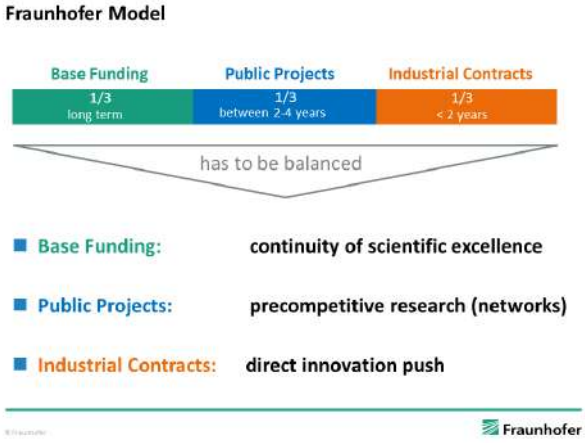
Pero para llegar a este punto, los diferentes institutos Fraunhofer tuvieron que proponer y responder a nuevas preguntas de investigación, orientaciones de expansión, planificación financiera y organizativa, estatutos renovados, reglamento marco para los institutos, informes sobre inclusión

y participación de los empleados, sobre la expansión y organización de la administración central y sobre el sistema de remuneración.

Luego, la Junta Directiva, fortalecida en sus funciones y competencias, se convirtió en el núcleo político de orientación de la Sociedad Fraunhofer. La Junta Honoraria de varios miembros fue reemplazada por un trío de gestión de tiempo completo con áreas de negocio definidas de manera explícita. Se destacó claramente el liderazgo del presidente. De allí se resalta que el gobierno corporativo es el órgano supremo de toma de decisiones y control. El Consejo Científico y Técnico (WTR) se estableció como órgano de codeterminación y se compone por los directores de institutos y de personal científico y técnico en igualdad de condiciones. El Comité de Gestión del Instituto (ILA), compuesto por directores, funcionarios y representantes electos del personal científico y técnico, y creado para los institutos, es similar al Consejo Científico.

El Modelo Fraunhofer equilibra las funciones y competencias de los organismos y cuerpos colegiados. Por tal motivo, fue importante encontrar el equilibrio adecuado entre los Ministerios y Fraunhofer, por un lado, y la administración central y los institutos, por otro. El debate alrededor del gobierno corporativo demostró su valor cuando los mecanismos de regulación institucionalizada de conflictos entraron en funcionamiento. Los conflictos fueron igualmente permeados por el consejo de administración, la administración de institutos y el Consejo Científico Técnico (WTR). En la Sociedad Fraunhofer, los debates también dieron lugar a una gran cantidad de propuestas creativas que abrieron nuevas perspectivas.

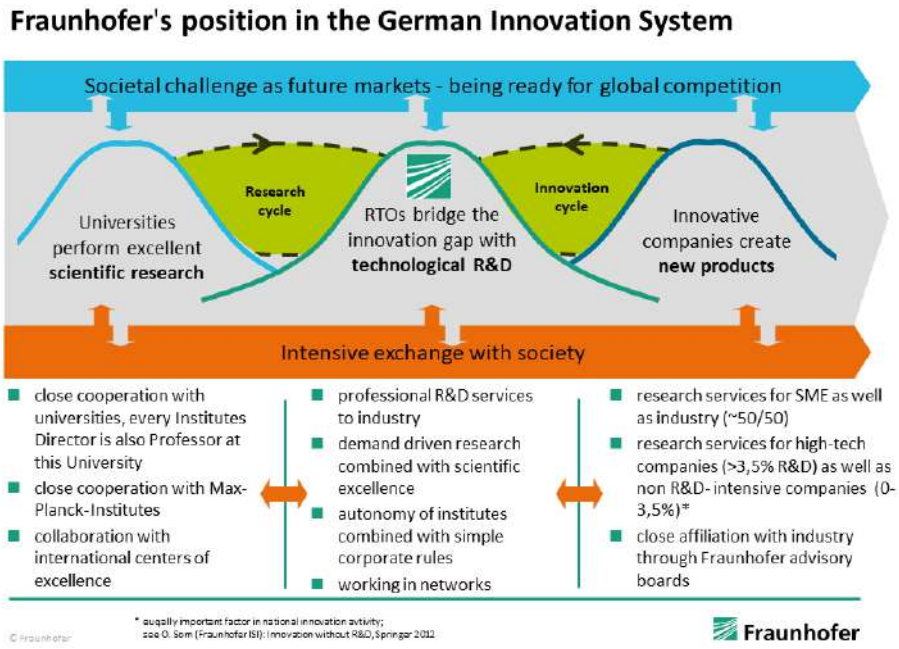
La clasificación de las actividades de investigación propias de Fraunhofer, la investigación básica e investigación por contrato dio un aire adicional a los institutos Fraunhofer. La investigación básica y la investigación por encargo representan dos tercios de la actividad total de los institutos. Cada instituto está comprometido en obtener dos tercios de su propio presupuesto. La financiación básica o central aumenta a medida que crece el volumen de investigación por contrato y la investigación básica. Este es el tipo de financiación con una óptica diferente para la asignación de fondos.



Gráfica 2.4. El Modelo Fraunhofer
Fuente: Tomado de Fraunhofer at a glance, M. Eisenhauer, E. Bierdümpel, Cumbre de la Misión de Sabios en Cartagena, 2019

La Sociedad Fraunhofer es una eficiente patrocinadora de la investigación aplicada y pionera en probar nuevas formas de financiación de investigación, con el fin de fortalecer la investigación por contrato y con el doble mandato de estar disponible como socio, tanto para las empresas, como para el gobierno. Esta es una de las características cardinales del Modelo Fraunhofer de financiación básica o central relacionada con el rendimiento y los resultados. Por eso, el modelo de financiación básica basado en resultados conlleva a un inmenso dinamismo a la Sociedad Fraunhofer y desencadena un crecimiento importante. El principio del Modelo Fraunhofer es una herramienta ideal de planificación y control que obliga a una adaptación constante a los mercados futuros y, por lo tanto, mantiene el rendimiento.

El hecho que la relación entre la financiación básica y la investigación contractual no se estableciera en detalle resulta ser una ventaja a largo plazo, ya que es posible adaptarla y reajustarla en función de las condiciones cambiantes en la ciencia, la industria y el Estado. Probar el modelo durante un período de tiempo razonable y revisarlo periódicamente dinamiza la estructura de los institutos Fraunhofer y es parte fundamental de la identidad de la sociedad.



Gráfica 2.5. La posición de los Fraunhofer en el Sistema de Innovación Alemán
Fuente: Fraunhofer at a glance, M. Eisenhauer, E. Bierdümpel, Cumbre de la Misión de Sabios en Cartagena, 2019

La Sociedad Fraunhofer fue muy persuasiva para lograr una evaluación realista en los Ministerios Federales Alemanes. ¿Cuánto del presupuesto total podrían generar las propias instituciones? La argumentación asertiva llevó a acuerdos marco sobre financiación de la investigación, donde más del 60% fue considerado como meta ambiciosa. La relación entre la financiación básica o central y la investigación por contrato y la financiación basada en el rendimiento siguen siendo una preocupación para la Sociedad Fraunhofer.

El Modelo Fraunhofer hace posible el enfoque de la investigación contractual orientada al mercado. La planificación estratégica de la investigación es un elemento central de control. Los diferentes institutos se orientan a los principales programas de financiación del Estado. El crecimiento de la Sociedad Fraunhofer se da por la orientación hacia los mercados

y la industria. Se reconoce la importancia de la innovación técnica para el éxito de la industria. La planificación estratégica de la investigación es una prioridad y se alinea con los programas federales de tecnología. La idea tiene por objeto vincular la universidad, los institutos Fraunhofer y la investigación industrial para poder liderar proyectos conjuntos a lo largo de todo el proceso de innovación hasta la implementación industrial.

Además de la ciencia, los negocios y la política, también están representados otros sectores de la sociedad, como los sindicatos y los medios de comunicación. El diálogo continuo para crear confianza es una herramienta vital entre los mismos institutos Fraunhofer. Para lograr estas sinergias, el relacionamiento de los altos directivos de la Sociedad Fraunhofer juega un papel esencial. La identidad corporativa uniforme que hace visible a la Sociedad Fraunhofer, tanto a expertos, como al público en general, es un elemento distintivo.

La Sociedad Fraunhofer, pionera en la investigación aplicada, se ha convertido en la organización más grande de Europa en su campo. Su impacto va mucho más allá de los beneficios directos para la industria, sector servicios y administración pública: a través de su trabajo de investigación y desarrollo, los institutos Fraunhofer contribuyen a la competitividad de las regiones o estados federados. Con un claro enfoque en las tecnologías clave y relevantes para el futuro, Fraunhofer desempeña un papel central en el proceso de innovación en Europa, y especialmente en Alemania. La Sociedad Fraunhofer es motor de la economía alemana y es promotor de innovación, según la Dra. Anja Karliczek, miembro del parlamento federal alemán y Ministra Federal de Educación e Investigación. Como se dijo anteriormente, al ser Fraunhofer un modelo de éxito durante los últimos setenta años, es un posible modelo a seguir en Colombia.

Nanotecnologia: tecnología clave para habilitar nuevos desarrollos

Mónica Álvarez-Láinez

La nanotecnología es una de las cuatro aristas de lo que hoy se conoce como las tecnologías convergentes, la cual permite comprender los fenómenos que ocurren en la nanoescala, dimensión que es imposible visualizar con nuestros ojos, pero que genera muchos cambios en los atributos que finalmente percibimos de los objetos físicos e incluso del mundo digital. Con la llegada de lo que hoy conocemos como la cuarta revolución industrial, vemos a las áreas NBIC como la base para su desarrollo.

La nanotecnología es una de las tecnologías habilitadoras clave que impulsará las innovaciones en las próximas décadas, ya que se espera contribuya de manera significativa a algunos desafíos sociales: salud, energía sostenible, aire y agua limpia, y también en seguridad alimentaria (Davidson y Gu, 2012; Huang y Wang, 2016; Lira-Saldivar, Hernández-Suárez y Corrales-Flores, 2014; Majeed y Taha, 2013; Parisi *et al.,*

2015; Sozer y Kokini, 2009). Particularmente en los desafíos relacionados con la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y el cambio climático, se inscriben investigaciones para explorar nuevas soluciones basadas en la combinación entre la nanotecnología y la biotecnología como medios del mejoramiento del sector agroalimentario. En un informe para la Comisión Europea, del Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, titulado *Nanotecnología para el sector agrícola*, se puede leer: "La agricultura puede beneficiarse potencialmente de la nanotecnología de diferentes maneras, permitiendo a los agricultores mantener la competitividad en un mundo global" (Parisi *et al.,* 2014).

El rápido crecimiento de la población conlleva a su vez un aumento en la demanda por la disponibilidad y el acceso a los alimentos. Los grandes retos que esto genera deben ser enfocados a partir de la relación entre factores ecológicos, agrícolas, económicos, sociales, culturales, sanitarios y tecnológicos (Social y Fao, 2013). La baja productividad representa una de varias limitantes hacia la disponibilidad alimentaria, la cual puede asociarse a diversos factores como: terrenos de bajo potencial productivo (Baca y Aguancha, 2005); limitaciones de agua y de nutrientes; deterioro causado por un manejo inadecuado del suelo, del agua o por efectos climáticos (Kalpana Sastry, Rashmi y Rao, 2011); y además del impacto que generan plagas y enfermedades.

Uno de los avances tecnológicos que se perfila como una promesa para contribuir con el rápido desarrollo de los campos y revolucionar el sistema alimenticio es la nanotecnología (Davidson y Gu, 2012; Ghormade, Deshpande y Paknikar, 2011a, 2011b; Kalpana Sastry *et al.,* 2011; Kashyap, Xiang y Heiden, 2015; R. Liu y Lal, 2015; Morris, 2011; Parisi, Vigani y Rodrigez-Cerezo, 2014; Parisi, Vigani y Rodriguez-Cerezo, 2015; Salamanca-buentello *et al.,* 2005; Scott, 2002; Sozer y Kokini, 2009; UN Millennium Project, 2005). La nanotecnología puede impactar la productividad, pero además puede contribuir con el acceso a los alimentos. A partir de esto, es importante tener en mente que la nanotecnología es una tecnología habilitante y que puede ser complementaria a otras tecnologías, tal y como se propone desde la convergencia tecnológica.

El uso de nanomateriales en agricultura presenta grandes frentes de aplicación, como la reducción de pérdidas de nutrientes y el aumento del rendimiento de los cultivos como consecuencia del manejo de nutrientes por sitio específico en el suelo (Davidson y Gu, 2012; Liu y Lal, 2015; Morris, 2011; Parisi, Vigani y Rodríguez-Cerezo, 2014; Paisi *et al.,* 2015; Scott, 2002; Sozer y Kokini, 2009). Para citar como ejemplo de las aplicaciones de nanomateriales, revisemos, por ejemplo, el tema de fertilizantes en el sector del agro: el uso de fertilizantes presenta poca efectividad, se generan pérdidas debido a la lluvia y reacciones químicas que disminuyen su actividad, entre otros, lo que genera una eficiencia estimada entre 30-50% (R. Liu & Lal, 2015). Para el año 2030, se espera un incremento del 49.9% en el uso de fertilizantes, con el agravante de que no todo el fertilizante será utilizado por la planta, sino que una fracción se liberará al ambiente, lo que sumado a los incrementos anuales de los precios, representa pérdidas económicas significativas (Davidson & Gu, 2012). Sin embargo, las soluciones basadas en sistemas de nanoescala para el sector agrícola siguen siendo marginales en comparación con otros sectores como el farmacéutico y la salud (Parisi, Vigani y Rodríguez-Cerezo, 2014). Debido a los costos asociados y a los problemas de eficiencias en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, a partir de la década de los 90 nacen los sistemas de liberación sostenida y controlada de nutrientes. Con estos sistemas aumenta la eficiencia de asimilación, y disminuyen las cargas al ambiente (Trenkel, 1997).

El origen de los sistemas de liberación controlada se presenta cuando se busca una mayor eficiencia en el suministro de medicamentos. A partir de los desarrollos en esta área se traslada el mismo principio a sistemas de liberación de nutrientes y de pesticidas en el sector agroindustrial, donde el principal foco de estudio se centra en diseñar un sistema que sea capaz de proporcionar la cantidad de nutrientes requeridos por la planta en un cierto periodo de tiempo. Este diseño no es universal, ya que dependerá de las características fisicoquímicas del suelo y de la comunidad microbiana, así como del tipo de planta que se quiera nutrir.

Otro ejemplo de las aplicaciones que tiene la nanotecnología es la que se encuentra enmarcada en la generación de sistemas de protección

(personales o industriales) para aquellos enemigos invisibles presentes en el aire. Al decir que son invisibles, quiero resaltar en que tienen tamaños que son imposibles de resolver por el ojo humano, lo que genera una amenaza. Dos de estos grandes enemigos son los virus (como el *SARS-CoV-2* que tiene un tamaño aproximado de 100 nm) y el material particulado de tamaño inferior a 0.3 mm (PM0,3).

La tecnología más común para remover material contaminante del aire es la filtración. Los principios y fundamentos de la filtración para sistemas de más de 5 μm han sido muy estudiados, pero para tamaños inferiores aún son inciertos. Sistemas de filtración tipo HEPA y ULPA presentan problemas de filtración para materiales con tamaños entre 0.04-0.4 μm, los cuales son los tamaños característicos de los virus (Hutten, 2007). Por ejemplo, el numeral N95 presente en la mayoría de los sistemas de protección respiratoria que se están usando como producto de la pandemia generada por el coronavirus, indica la habilidad que tiene la membrana para filtrar el 95% de las partículas con mayor capacidad de penetración, es decir, aquella que tienen un valor diámetro promedio de 0.3 μm (PM0,3).

Se ha asociado que tamaños en la nanoescala (PM0,3 y virus) eran capturadas por la superficie de un filtro debido a su movimiento browniano, pero estudios recientes han remarcado que estas partículas tan pequeñas chocan con la superficie del filtro y rebotan, siempre y cuando la energía cinética en la aproximación de la partícula sea mayor que la energía superficial del filtro (Givehchi, 2014). Además, se ha encontrado que existe una relación entre las características del contaminante a atrapar/capturar y la energía superficial de la fibra (Liu, 2015). Por lo tanto, la alta energía superficial/volumen de las nanofibras juega un rol fundamental para la captura de estos contaminantes.

Las nanofibras poliméricas se caracterizan por su pequeño diámetro (inferior a 500 nanómetros), alta porosidad, baja densidad y poros de tamaño pequeño. Las nanofibras han sido empleadas con éxito en diversos campos, como por ejemplo: nanocatálisis, ingeniería de tejidos, ropa para protección, filtración, artículos biomédicos, farmacéuticos, electrónica óptica, salud, biotecnología, defensa y seguridad, e ingeniería ambiental. En los últimos diez años se ha generado un creciente interés en la explotación

de esta tecnología para producir fibras nanométricas para aplicaciones biomédicas y en ingeniería de tejidos. En Colombia, desde el año 2005, se reportan trabajos y publicaciones empleando esta técnica en aplicaciones biomédicas. Sin embargo, aunque ya hay un gran recorrido en esta área de aplicación en el mundo, existe una nueva y creciente tendencia en el empleo de esta técnica para la fabricación de sistemas de filtración como la micro y nanofiltración, área aún por explorar en Colombia.

Desarrollo de recurso humano y su retención

Cuando se habla de tecnologías convergentes se identifica que existen conocimientos que se necesitan poner en común, y hacerlo implica formar o educar con capacidad de relacionar los fundamentos que estas tecnologías requieren para aprovechar sus beneficios

Transformación del sistema educativo

Desde la educación en la primera infancia es necesario comenzar a plantear la importancia de la articulación de la tecnología, y que la digitalización es correlativa a entender cómo se relaciona el tamaño o la escala en cada uno de los procesos involucrados en los desarrollos científicos y técnicos.

En las universidades es común que exista trabajo colaborativo entre escuelas y facultades de ciencias e ingenieria, pero lo que se necesita para ayudar con el cierre de brechas es que además se generen articulaciones con las escuelas de humanidades (ciencias políticas, psicología, por citar algunas) y de administración (economia).

Tenemos que generar estrategias que nos permitan comprender cómo la tecnología puede afectar nuestras vidas y cómo esta le puede dar nuevas formas a las dinámicas sociales, económicas, culturales y ambientales.

Ética en la era digital (política pública)

Para evidenciar las fortalezas de esta convergencia se hace necesario contar con un sistema regulatorio fortalecido, que potencie el desarrollo de nuevos productos y no uno que frene los nuevos desarrollos.

Equilibrio entre la academia y sistema nacional CTI

Conseguir una sociedad basada en el conocimeinto no es una tarea fácil, para esto se hace necesario entender las diferentes etapas de desarrollo de tecnología a partir de la generación de conocimiento. Alcanzar la anhelada independencia tecnológica debe ir acompañada de una fuerte y estable articulación entre la universidad, la industria y el Estado. En definitva, solamente es posible una industria apoyada en los lineamientos que describe la cuarta revolución industrial si existe un correcta introducción y apropiación basada en lo que ofrecen las tecnologías convergentes

Referencias

Baca, S. S. y Aguancha, A. L. (2005). Los problemas de seguridad alimentaria desde la perspectiva regional andina (9-24). En *Políticas de seguridad alimentaria en los países de la Comunidad Andina*. Chile: FAO.

Davidson, D., & Gu, F. X. (2012). Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(4), 870-876. http://doi.org/10.1021/jf204092h

Ghormade, V., Deshpande, M. V. y Paknikar, K. M. (2011a). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, *29*(6), 792–803. http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007

Ghormade, V., Deshpande, M. V. y Paknikar, K. M. (2011b). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants.

Biotechnology Advances, *29*(6), 792-803. http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007
Hernández-Suárez, M. y Corrales-Flores, J. (2014). Nanotecnología en agricultura sustentable. *Centro de Investigación En Química Aplicada*, 44. Tomado de http://www.fan.org.ar/wp-content/uploads/2014/05/Nanotecnologia-y-agricultura-sustentable.pdf
Huang, Y. y Wang, L. (2016). Experimental studies on nanomaterials for soil improvement : a review. *Environmental Earth Sciences*, *75*(6), 1–10. http://doi.org/10.1007/s12665-015-5118-8.
Hutten, I. (2007). *Handbook of Nonwoven Filter Media*. Elsevier.
Kalpana Sastry, R., Rashmi, H. B. y Rao, N. H. (2011). Nanotechnology for enhancing food security in India. *Food Policy*, *36*(3), 391-400. http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.012
Kashyap, P. L., Xiang, X. y Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V. http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.039
Liu, R. y Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, *514*, 131-139. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104
Lira-Saldivar, R. H., Corradini, E., de Moura, M. R. y Mattoso, L. H. C. (2010). A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles. *Express Polymer Letters*, *4*(8), 509–515. https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2010.64
Majeed, Z. H. y Taha, M. R. (2013). A Review of Stabilization of Soils by using Nanomaterials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *7*(2), 576-581.
Morris, V. J. (2011). Emerging roles of engineered nanomaterials in the food industry. *Trends in Biotechnology*, *29*(10), 509-516. http://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.04.010
Parisi, C., Vigani, M. y Cerezo, E. R. (2014). *Proceedings of a Workshop on "Nanotechnology for the agricultural sector: from research to the field"* (No. JRC89736). Joint Research Centre (Seville site). http://doi.org/10.2791/80497
Parisi, C., Vigani, M. y Rodriguez-Cerezo, E. (2015). Agricultural nanotechnologies: What are the current possibilities? *Nano Today*. Elsevier Ltd. http://doi.org/10.1016/j.nantod.2014.09.009

Salamanca-buentello, F., Persad, D. L., Court, E. B., Martin, D. K., Daar, A. S. y Singer, P. A. (2005). Nanotechnology and the Developing World. *PLoS Med*, *2*(5), 383-386. http://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020097

Scott, N. (2002). *Science and engineering for agriculture and food science and engineering for agriculture and food systems*.

Social, M. de S. y P. y Fao. (2013). Documento técnico de la situación en Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN). *Fao*, 115. Tomado de http://www.osancolombia.gov.co/doc/Documento_tecnico_situacion133220313.pdf

Sozer, N. y Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, *27*(2), 82-89. http://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010

Trenkel, M. E. (1997). *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Libro Fertilizantes*.

UN Millennium Project, 2005. (2005). *Innovation: Applying Knowledge in Development.* Tomado de http://www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf

Asimilación de datos: mecanismo de apoyo para el desarrollo integral de Colombia

Elías D. Niño-Ruiz
Olga L. Quintero-Montoya

Los pronósticos de las variables físicas tales como la precipitación, humedad, velocidad del viento, radiación solar, presión atmosférica, entre otras, son de vital importancia en distintas regiones del territorio nacional colombiano. Por ejemplo, por medio de la precipitación es posible estimar los niveles de caudales en ríos, con el objetivo de prevenir inundaciones (Sarria-Villa *et al.*, 2016). Por otro lado, los componentes vectoriales de la velocidad del viento están fuertemente correlacionados con materias particuladas tales como el PM2.5 (partículas finas) y el PM10 (partículas de polvo grueso), que en Colombia afectan a más personas que cualquier otro tipo de contaminante (Fernández-Nino *et al.*, 2018). Por lo tanto, es claro que el pronóstico de variables físicas puede apoyar al desarrollo de Colombia en materia de prevención, planificación y ejecución de

actividades en diversos sectores. Dada la imperfección de los modelos numéricos, se hace necesario el uso de esquemas de Asimilación de Datos (AD) que permitan corregir la predicción con base en observaciones reales del fenómeno.

Este apartado se encuentra dividido en cuatro secciones: primero se discuten temas relacionados al pronóstico de modelos numéricos; los componentes de los esquemas basados en AD se detallan a continuación; luego se discute las oportunidades de implementación de esquemas de AD en el territorio nacional colombiano; y por último, se ofrecen las recomendaciones basadas en el estudio realizado de AD durante la Misión de Sabios de 2019.

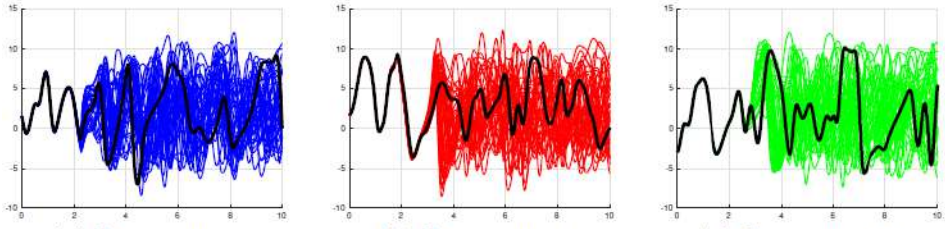
Pronóstico de variables físicas

El pronóstico de fenómenos físicos se basa en tres pilares fundamentales: la discretización de la realidad (Aavatsmark *et al*., 1998), el diseño de modelos numéricos (Quarteroni y Quarteroni, 2009) y la estimación de niveles de incertidumbre asociados a dichos pronósticos (Smith, 2013).

La discretización de la realidad consiste en la representación de nuestro entorno espacial en la naturaleza discreta de la máquina (Ghosh y Constantinescu, 2016), esto es, la selección de puntos sobre un espacio de interés, construyendo una malla que puede llegar a abarcar desde ciudades hasta nuestro planeta. De esta manera, nuestro conocimiento sobre la dinámica y la física del sistema es encapsulado en un modelo numérico, cuya finalidad es imitar el comportamiento del fenómeno de interés. Dentro de la comunidad científica son reconocidos y ampliamente implementados a nivel operacional dos modelos, los cuales permiten el acople de sus salidas (variables) con modelos de interés a nivel nacional:

- Atmospheric General Circulation Model (SPEEDY) (Kucharski *et al., 2006)*.
- El modelo Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock *et al.,* 2001).

Una vez definido el modelo de pronóstico, se hace necesario el estudio de su nivel de incertidumbre, el cual hace referencia a la propagación temporal de pequeñas perturbaciones en la condición inicial del sistema. En la siguiente gráfica se puede apreciar cómo pequeñas perturbaciones son amplificadas temporalmente por la dinámica no lineal del modelo atmosférico Lorenz-96 (Wilks, 2005) cuya resolución consta de 40 componentes.



Gráfica 2.6. Amplificación temporal de pequeñas perturbaciones en la condición inicial para el modelo Lorenz-96
Fuente: Elaboración propia

La trayectoria en negro denota el pronóstico sin perturbación. Los pronósticos obtenidos a partir de perturbaciones a la condición inicial del sistema se ilustran en colores. Se detalla la evolución de tres componentes del modelo.

Los pronósticos ayudan a comprender la evolución temporal de sistemas dinámicos y la manera como sus distintas variables interactúan. Sin embargo, dada la naturaleza discreta de las máquinas en donde los modelos operan y las simplificaciones de las leyes de la física realizadas al momento de su diseño, los pronósticos numéricos son imperfectos y se caracterizan por altos volúmenes de incertidumbre (Walker *et al.,* 2003). Por tanto, se hace necesario el uso de esquemas matemáticos y estadísticos que permitan acoplar información real del sistema con el pronóstico imperfecto dado por el modelo numérico (Nino-Ruiz, 2020).

Asimilación de datos

La asimilación de datos es el proceso por medio del cual un pronóstico numérico imperfecto $x^b \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ es ajustado con base a un arreglo de observaciones $y \in \mathbb{R}^{m\times 1}$ del fenómeno real de interés $x^* \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ (Evensen, 2009), en donde x^b es mejor conocido como el estado pronóstico, n denota el número de variables a estimar (por ejemplo la velocidad del viento, precipitación, etc.), m es el número de observaciones (sensores), y x^* es el estado real del sistema.

El proceso de inferencia estadística implica el diseño o selección de modelos para representar los niveles de incertidumbre de los datos obtenidos por el modelo numérico e información sensorial (Nino-Ruiz, 2017; Nino-Ruiz *et al.,* 2018). El acoplamiento de estas dos fuentes de información es factible mediante la implementación del teorema de Bayes, $\mathcal{P}(x|y)\, \alpha\, \mathcal{P}(x) \cdot \mathcal{L}(x|y)$, (1).

En donde la distribución a priori $\mathcal{P}(x)$ encapsula el nivel de incertidumbre asociado al pronóstico x^b, mientras que la función de verosimilitud $\mathcal{L}(x|y)$ cuantifica la incertidumbre asociada al arreglo de observaciones y. En el proceso de estimación de variables no existen respuestas deterministas como consecuencia de los niveles de incertidumbre asociados a las dos fuentes de información. Posteriormente, el proceso de asimilación se basa en la solución de un problema de optimización a gran escala: $x^a = \arg\min_x \mathcal{P}(x|y)$, (2).

En donde $x^a \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ es la mejor estimación de x^* una vez las observaciones y han sido incorporadas en el pronóstico imperfecto x^b.

En la práctica, los modelos de estimación se basan en simplificaciones de la realidad, debido a restricciones computacionales o desconocimiento de la dinámica real del sistema. Por otra parte, el uso de redes de sensores de monitoreo no permite la toma de datos en tiempo real; además, información sensórica puede ser inviable en zonas de difícil acceso, dadas las condiciones ambientales y geográficas de Colombia.

Oportunidad de implementación de mecanismos de asimilación de datos en el contexto colombiano

El proceso de AD puede mejorar la operación de diversos sectores de la economía colombiana al emplear estos mecanismos para mejorar la toma de decisiones en los respectivos procesos. La motivación de realizar los pronósticos es clara: se cuenta con modelos numéricos que permiten estimar el estado del sistema en el territorio colombiano. Sin embargo, es necesario contar con una infraestructura tecnológica que permita, en tiempo real, obtener información de variables físicas y químicas para el proceso de AD. Actualmente, Colombia cuenta con una red de radares, tales como el de Carimagua en el Meta, instalado en el 2019, con capacidad de monitoreo de 181.404, que permite obtener información sensórica del departamento de Casanare. Por lo tanto, se cuenta con la disponibilidad de incorporar en el pronóstico de modelos numéricos, como el WRF, información meteorológica de nuestro país.

Los radares meteorológicos permitirían predecir alertas de tornados, alertas a los pilotos sobre fenómenos que impactan en el espacio aéreo, predicción de niveles de precipitación, entre otros. Adicionalmente, permitirían entender la hidrología nacional, desde un punto de vista científico y social, pues evidenciaría la estimación de desastres naturales que causan la pérdida de vidas humanas, infraestructura y cosechas.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es el organismo colombiano encargado del monitoreo del clima para alertar a municipios y autoridades sobre cualquier tipo de riesgos. Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha manifestado que solo tiene una fiabilidad del 50%, por lo que con el ingreso de nuevos radares se espera mejorar la precisión a un margen del 85%, lo cual es un paso importante pero no suficiente.

Dado que es utópico pensar en una cobertura del 100% del territorio colombiano, es factible, entonces, la representación del territorio mediante una malla numérica, realizar pronósticos meteorológicos y corregir estos mediante la información obtenida a partir de la red de radares meteorológicos. Actualmente se están publicando pronósticos obtenidos de

métodos numéricos como Global Forecast System (Whitaker *et al.,* 2008) y el Mesoscale Model de quinta Generación (Salcedo-Sanz *et al.,* 2009). Sin embargo, ambos modelos no explotan las mediciones de los radares locales, lo que previene la obtención de pronósticos meteorológicos nacionales con baja incertidumbre. Además, estos llevan a cabo el pronóstico sin contemplar la información proveniente de datos reales, sesgando el pronóstico con respecto al estado actual del sistema.

Basado en el principio de gratuidad, contemplado en la Ley 1712 del 6 de marzo de 2014, es un deber del IDEAM facilitar de manera gratuita la información medida por los radares nacionales a cualquier entidad del territorio nacional colombiano. Por ejemplo, usando una API dispuesta por el IDEAM, se podría obtener la información radar, y de esta manera obtener observaciones meteorológicas en tiempo real.

Recomendaciones

Con fundamento en expertos en el tema de AD, Colombia es un país donde la toma de decisiones, en diversos sectores de la economía, podrá verse beneficiada a través de los esquemas de AD. Por lo tanto, consideramos viables las siguientes recomendaciones:

- Dado el componente estadístico, matemático y computacional en los procesos de AD (Nino-Ruiz y Sandu, 2019), conceptos básicos de estadística y matemática aplicada deben ser transversales a la formación del capital humano en Colombia.
- Se propone la construcción de un centro de AD con el objetivo de articular la información de radares y el pronóstico meteorológico de modelos numéricos. Adicionalmente, este centro podría servir a cualquier fuente de datos y modelo (por ejemplo, modelos econométricos, epidemiológicos, etc.).
- Acoplar la salida de pronósticos meteorológicos a modelos de química de transporte, que permitan explicar el impacto de agentes contaminantes en la salud del pueblo colombiano.

- Monitorear el efecto invernadero en las diversas regiones de Colombia.

Las sugerencias trazadas dentro del contexto de AD para Colombia facilitan la toma de decisiones en diversos ámbitos nacionales. En general, se busca mejorar la calidad de vida de millones de colombianos mediante un sistema que apoye la minimización de riesgos en la toma de decisiones que comprometan el bienestar y la seguridad del país.

Referencias

Aavatsmark *et al*. (1998). Control-volume discretization methods for 3d quadrilateral grids in inhomogeneous, anisotropic reservoirs. *SPE Journal*, 3(02),146-154.

Evensen, G. (2009). Data assimilation: the ensemble Kalman filter. *Springer Science & Business Media*.

Fernández-Niño, J. A., Astudillo-García, C. I., Rodríguez-Villamizar, L. A. y Florez-Garcia, V. A. (2018). Association between air pollution and suicide: a time series analysis in four Colombian cities. *Environmental health*, 17(1), 47.

Ghosh, D. y Constantinescu, E. M. (2016). Well-balanced, conservative finite difference algorithm for atmo-spheric flows. *AIAA Journal*, 54(1), 1370-1385.

Kucharski, F., Molteni, F. y Bracco, A. (2006). Decadal interactions between the western tropical pacific and the north atlantic oscillation. *Climate Dynamics*, 26(1), 79-91.

Nino-Ruiz, E. D. (2017). A matrix-free posterior ensemble kalman filter implementation based on a modified cholesky decomposition. *Atmosphere*, 8(7), 125.

Nino-Ruiz, E. D. (2020). A numerical method for solving linear systems in the preconditioned crank–nicolson algorithm. *Applied Mathematics Letters*, 104, 106254.

Nino-Ruiz, E. D., Ardila, C. y Capacho, R. (2018). Local search methods for the solution of implicit inverse prob- lems. *Soft Computing*, 22(14), 4819-4832.

Nino-Ruiz, E. D. y Sandu, A. (2019). Effi- cient parallel implementation of dddas inference using an ensemble kalman filter with shrinkage covariance matrix estimation. *Cluster Computing*, 22(1), 2211-2221.

Quarteroni, A. y Quarteroni, S. (2009). Numerical models for differential problems, volume 2. Springer.

Salcedo-Sanz, S., Perez-Bellido, A. M., Ortiz- Garcia, E. G., Portilla-Figueras, A., Prieto, L. y Paredes, D. (2009). Hybridizing the fifth generation mesoscale model with artificial neural networks for short-term wind speed prediction. *Renewable Energy*, 34(6), 1451-1457.

Sarria-Villa, R., Ocampo-Duque, W., Páez, M. y Schuhmacher, M. (2016). Presence of pahs in water and sediments of the colombian cauca river during heavy rain episodes, and implications for risk assessment. *Science of the Total Environment*, 540, 455-465.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., and Dudhia, J. (2001). Prototypes for the wrf (weather research and forecasting) model. In Preprints, *Ninth Conf. Mesoscale Processes*, J11–J15, Amer. Meteorol. Soc., Fort Lauderdale, FL.

Smith, R. C. (2013). Uncertainty quantification: theory, implementation, and applications, volume 12. Siam.

Walker, W. E., Harremoes, P., Rotmans, J., Van Der Sluijs, J. P., Van Asselt, M. B., Janssen, P. y Krayer von Krauss, M. P. (2003). Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty man- agement in model-based decision support. *Integrated assessment*, 4(1), 5-17.

Whitaker, J. S., Hamill, T. M., Wei, X., Song, Y., and Toth, Z. (2008). Ensemble data assimilation with the ncep global forecast system. *Monthly Weather Review*, 136(2), 463-482.

Wilks, D. S. (2005). Effects of stochastic parametrizations in the lorenz'96 system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(606), 389-407.

Capítulo

tres

Colombia, ¿en línea con la nueva revolución?

Secretaría técnica del Foco Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0

Secretarías técnicas
Universidad EAFIT y Universidad del Norte
Nora Cadavid Giraldo
Asistente técnica, secretaría Universidad EAFIT y editora del capítulo

La cuarta revolución industrial representa uno de los temas más retadores en el marco de la nueva misión *Colombia productiva y sostenible,* pues su desarrollo está fundado en el conocimiento y en la cohesión entre los tres grandes estamentos del sistema de Innovación-Universidad-Empresa-Estado. Si Colombia no se une de manera más contundente y con prontitud a esta dinámica, le resultará cada vez más difícil cubrir la brecha que la separa de quienes lideran esta revolución.

Basados en tres temas estructurales, recursos humanos, producción académica, atracción de dinero inteligente y participación del sector privado, presentamos un recuento de la información más significativa que pueda describir una línea base a partir de la cual sea posible monitorear el progreso del país en la dinámica de la transformación digital y la convergencia tecnológica. El diagnóstico fue construido de manera colectiva en la primera fase del desarrollo de la Misión de Sabios, recurriendo a fuentes de información oficiales como Colciencias (hoy Minciencias), el Departamento Nacional de Estadística (DANE), el Ministerio de Educación, el Observatorio Nacional de Ciencia y Tecnología y el Departamento Nacional de Planeación; a partir de conversaciones con académicos y protagonistas del sistema CTI en Colombia; así como a partir de la comunicación directa con actores estratégicos del sector productivo, quienes a través de foros regionales nutrieron y validaron la información que se presenta a continuación.

Los indicadores presentados tienen un carácter nacional en su mayoría, pero en esta sección introductoria y como referencia internacional, queremos mencionar la calificación del país en el índice de innovación global generado por la Universidad de Cornell en alianza con la WIPO e Instead, para el año 2019. En este índice, el país obtuvo la posición 67 entre 130 países evaluados; los resultados muestran que Colombia es débil, dentro del grupo de países con ingresos medio en temas trascendentales como educación básica, inversión en educación o desarrollo de actividades de investigación en el sector productivo, mientras que sobresale por la promoción a la formación de los empleados por parte de las industrias y las importaciones de productos de alto nivel tecnológico.

También hacemos referencia a un aspecto fundamental que ha sido estudiado por el Departamento Nacional de Planeación y se resalta en el Plan de Desarrollo del actual gobierno: el rezago de las instituciones del Estado en la transformación digital (DNP, 2017). En este aspecto, la situación es crítica: solo el 4% de las instituciones del Estado tienen avances consistentes hacia la transformación digital, y el 8,7%, avances incipientes. Ambos referentes refuerzan los hallazgos obtenidos en el siguiente diagnóstico, y ponen en evidencia las grandes necesidades del país.

Capital humano

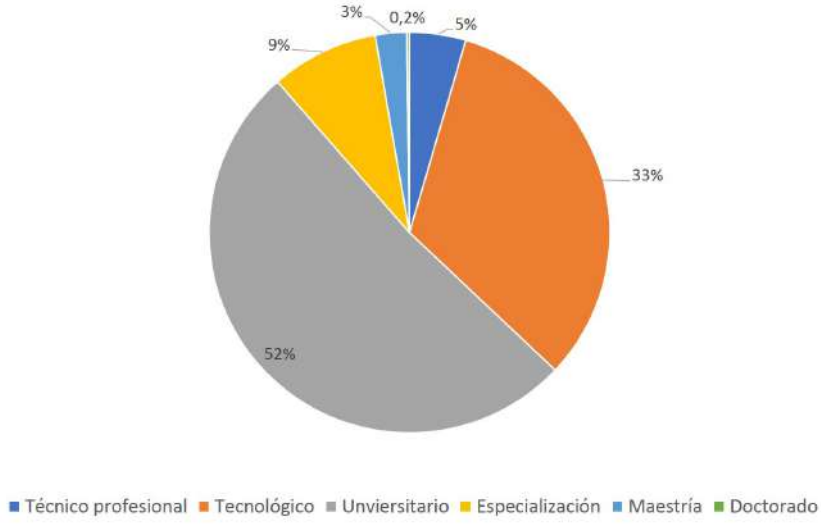
La integración a la cuarta revolución industrial demanda a su vez una revolución educativa. Se trata de un reto tan complejo y tan importante que ha sido un objetivo específico de investigación y de medición. La Unidad de Inteligencia de Negocios (EIU), uno de los centros de investigación económica más reconocidos del mundo, estudia la preparación de diferentes países del mundo para esta revolución, a través de sus reformas curriculares, estrategias de aprendizaje continuo, el entrenamiento ocupacional y la flexibilidad. Dichas habilidades se describen con una línea que se inicia en las ciencias básicas y, por lo tanto, demandan un fortalecimiento en áreas tradicionales como las matemáticas, la biología, la física y la química, pero también transcurre hasta elementos por fuera del sistema tradicional, como las habilidades computacionales y la lógica, la creatividad y la capacidad de trabajo en equipo. La EIU afirma que solo un pequeño grupo de países, como Corea del Sur, Alemania y Singapur, preparan a sus estudiantes para los nuevos retos de la convergencia científica. Aunque el informe subraya que, incluso en estas regiones, la implantación es "incipiente". Preocupa que en los últimos puestos del índice de preparación se encuentren países emergentes como Brasil, Colombia o Indonesia; se afirma con razón, que las deficiencias en la educación de los ciudadanos suponen "severos obstáculos" para la integración a la dinámica de la cuarta revolución industrial.

El tomo inicial de esta colección de libros sobe la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019 contiene el informe central del grupo de comisionados e incluye un gran capítulo dedicado al sistema de educación en Colombia, con estadísticas que describen su evolución y estado actual. Partiendo de ese punto, la información que aquí presentamos complementa la referenciada, haciendo énfasis en tres temas específicos: el número de personas que en todos los niveles de la educación superior se han formado en áreas compatibles con la convergencia NBIC y las tecnologías asociadas con la cuarta revolución industrial; los niveles de formación del capital humano integrado al sistema laboral del país; y el número de grupos de investigación en las áreas del foco.

Educación superior en áreas afines a la convergencia NBIC y las industrias 4.0

Uno de los grandes temas en este pilar de la educación y del recurso humano se refiere a la formación de profesionales, técnicos y tecnólogos. En ese sentido, las cifras en Colombia son positivas, pues entre 2000 y 2019 el número de estudiantes en las áreas de ingeniería y ciencias aumentó de 285.900 estudiantes a 675.000 (SNIES, 2000; SNIES, 2019), lo cual significa una tasa de crecimiento total del 136%. Además, la población total de estudiantes de educación superior creció en el mismo período en un 150%, mientras que la población total del país aumentó un 21% (DANE, 2005; DANE, 2019).

En cuanto a la distribución de los estudiantes, según el nivel de formación, los datos del SNIES en el segundo semestre de 2017 muestran una dominancia de la formación profesional, seguida por la técnica y tecnológica (ver Gráfica 3.1). ¿Cuál es la distribución ideal? Más allá de la existencia de mecanismos que obligan a un programa académico a

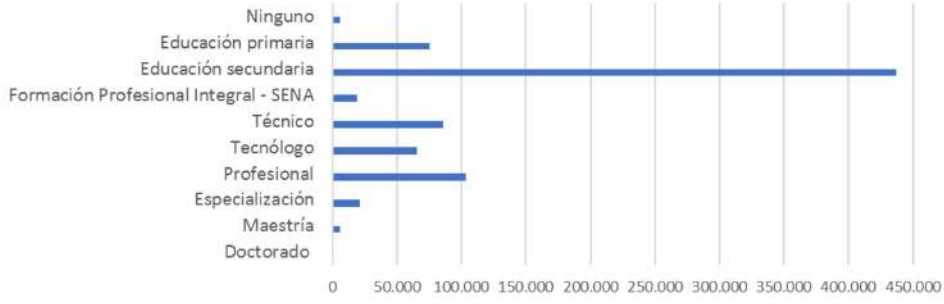


Gráfica 3.1. Egresados por nivel de formación en programas relacionados con el foco (promedio período 2001-2017)
Fuente: Elaboración propia a partir de SNIES (2017)

demostrar sus condiciones de relacionamiento con agentes externos, en el momento de obtener o renovar su registro calificado ante el Ministerio de Educación, no es visible la existencia de políticas que orienten la oferta del sistema educativo con las necesidades del sector productivo. Sin embargo, también es claro que en un mundo globalizado, la oferta educativa no tiene necesariamente que seguir la demanda del sector productivo local, pues los recursos humanos pueden ser un factor definitivo para la localización de las firmas multi o transnacionales, de manera que Colombia puede generar programas atendiendo a dinámicas globales y con ello, atraer actores externos a su territorio.

Nivel de formación académica de los empleados en Colombia

Una segunda visión sobre la relación entre los sistemas educativo y productivo está dada por la caracterización del nivel académico del personal laborando en la industria. En este caso, encontramos respuestas en la Encuesta de Desarrollo e Innnovación tecnoloógica (EDIT) del sector manufacturero a cargo del DANE. Entre los resultados de la última encuesta realizada en los años 2015-2016 (sintetizados en la Gráfica 3.2) se resalta

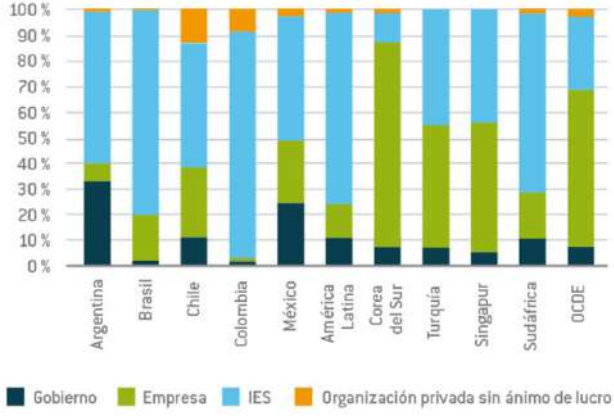


Gráfica 3.2. Formación académica de empleados del sector manufactura en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2016)

que el 53% de los empleados obtuvo su máximo nivel de formación en la educación básica secundaria, y 9,17% en la básica primaria. Técnicos y tecnólogos representan juntos el 20,85% de los empleados, seguidos por un 12% del nivel profesional. El número total de doctores en el sector manufacturero representa el 0,05% de la población total de empleados.

Formación de alto nivel y diáspora científica

Los datos sobre el número de doctores en Colombia son bastante imprecisos, pues no existe un mecanismo efectivo de monitoreo de doctores formados en el exterior. La encuesta EDIT identifica 15.000 doctores en el medio laboral. En esta misma encuesta, se establece que el 90% de los doctores labora en alguna institución de educación superior. Los asistentes a los foros regionales consideran que las empresas no cuentan con un entorno laboral propicio para la investigación, ni hay incentivos salariales que inviten a la cualificación académica dentro del entorno laboral. La baja inserción de personal altamente calificado por fuera del entorno académico se hace aún más evidente en comparación con otros países. La Gráfica 3.3 muestra los mínimos niveles de inserción del capital humano de alto nivel, en la industria, el gobierno o las ONG´s.

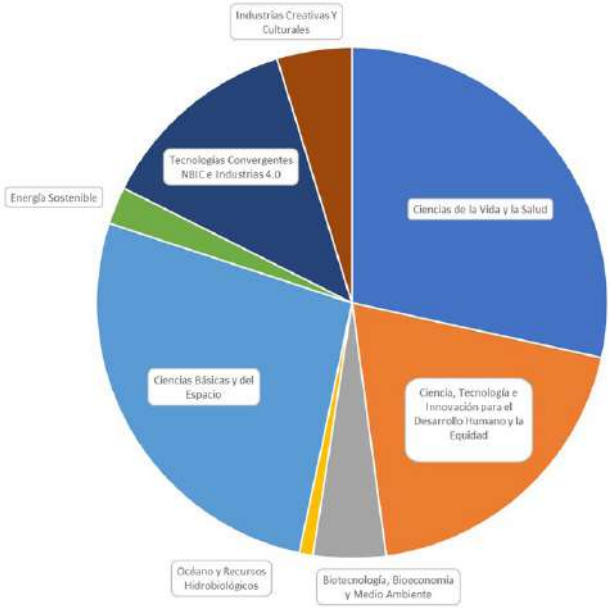


Gráfica 3.3. Doctores con vinculación laboral de las personas con formación doctoral en diversos países
Fuente: Consejo privado de competitividad (2016)

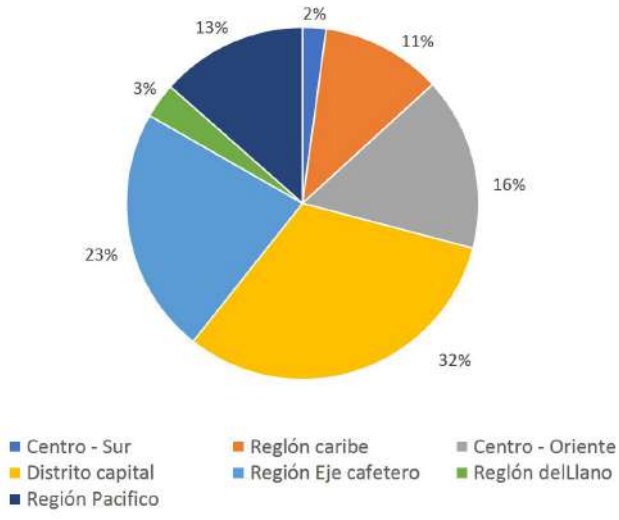
Las cifras sobre el número de doctores en Colombia son una muestra de la importancia de la diáspora científica para el país. Según datos del SNIES, en Colombia se han formado 4.121 doctores entre 2001-2017; la encuesta bianual manufacturera y de servicios del DANE reporta 15.104 doctores trabajando en el país. De esta forma, resulta evidente que gran parte de la formación de doctores colombianos ha ocurrido en el exterior. En los indicadores del programa de retorno de capital humano de alto nivel, liderado por Colciencias en 2015, se indicaba que 800 científicos colombianos estaban registrados en la red SCIENTI trabajando en el exterior (diáspora); CIDESAL identificaba un número cercano a los 13.000 colombianos trabajando en investigación en el exterior (diáspora); mientras que Medina y Poso (2009) identificaban 60.000 colombianos trabajando en el sistema CTI de Estados Unidos. Se trata de cifras tan disímiles que simplemente son útiles para llamar la atención sobre el tema del capital humano colombiano que no trabaja en el país y que representa un aporte potencial y muy significativo a nuestro sistema CTeI.

Grupos de investigación

En el marco del desarrollo de la misión de Sabios, Colciencias presentó un ejercicio de clasificación de los grupos de investigación registrados, utilizando como categorías los 8 focos temáticos de la misión. La Gráfica 3.4 muestra la distribución de los grupos según tales focos. De acuerdo con estos datos, solo el 13% de estos grupos trabaja en temas relacionados con las tecnologías convergentes y la industria 4.0; se evidencia además cierto equilibrio en su distribución territorial (Gráfica 3.5). Un análisis realizado con base en las líneas temáticas de los grupos muestra que otros 120 grupos, asignados a áreas de las ciencias básicas, la biotecnología o la salud, están directamente relacionados con temáticas NBIC o Industria 4.0. Esta situación se explica atendiendo el indiscutible carácter transversal de las tecnologías convergentes. Las tablas 3.1 y 3.2 describen la composición de estos grupos y la categoría asignada por Colciencias según sus niveles de producción.



Gráfica 3.4 Grupos de investigación en Colombia, agrupados en función de los diferentes focos de la misión
Fuente: Colciencias (2019)



Gráfica 3.5. Distribución geográfica de los grupos de investigación incluídos en el Foco Tecnologías NBIC e Industrias 4.0
Fuente: Colciencias (2019)

Tabla 3.1. Número de grupos de investigación en Tecnologías convergentes NBIC e Industrias 4.0

Categoría	Número
A1	46
A	66
B	80
C	149
Reconocido	33

Fuente: Colciencias (2019)

Tabla 3.2. Número de investigadores en Tecnologías convergentes NBIC e Industrias 4.0

Categoría	Número
Emérito	2
Sénior	174
Asociado	412
Junior	585

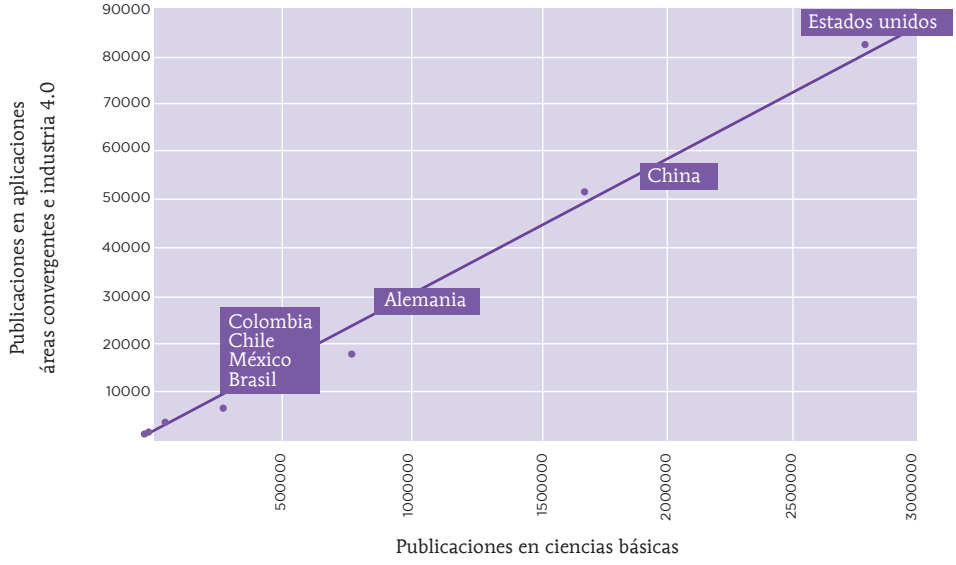
Fuente: Colciencias (2019)

Producción académica y su impacto

Los resultados de investigación del país son reflejo de las condiciones básicas del sistema CTeI y también el motor que dinamiza su desarrollo. La caracterización de las publicaciones académicas del país, en las temáticas asociadas a Tecnologías convergentes NBIC e Industria 4.0, se basó en búsquedas adelantadas en la base de datos de Web of Science (WOS), y la información recopilada fue procesada usando el software VosViewer. Los resultados incluyen todos aquellos artículos en los que se mencionan a autores que tienen a Colombia como país al que pertenece alguna de las instituciones de afiliación.

Se presenta también una comparación entre el número de publicaciones de Colombia, Chile, México y Brasil, como referentes en Latinoamérica, y Estados Unidos, China y Alemania, como referentes mundiales. La alta correlación global entre las publicaciones en ciencias básicas y en aplicaciones relacionadas con las áreas del foco, le da fuerza a nuestro argumento sobre la importancia de fortalecer las formación en matemáticas, física, química y biología, para asegurar el desarrollo de áreas más aplicadas (ver Gráfica 3.6).

Un paso siguiente en el análisis fue la separación entre tecnologías convergentes NBIC y otras temáticas asociadas al concepto de industria 4.0 como inteligencia artificial, internet de las cosas o *blockchain*. A pesar



Gráfica 3.6. Número de publicaciones en ciencias básicas y en aplicaciones relacionadas con las áreas del foco, para el período 2008-2018
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS

de la indiscutible relación entre estas temáticas, se atienden de forma independiente siguiendo estándares y convenciones, sobre todo en la forma como el tema de las NBIC se ha acuñado en las publicaciones académicas.

Publicaciones en el área de Tecnologías convergentes NBIC

En el área de las tecnologías convergentes se ha estandarizado el uso de los prefijos nano, bio, info y cogno para denotar la aplicación de cada una de las áreas básicas en convergencia: nanociencias, biotecnología, tecnologías de la información o ciencias cognitivas. De esta forma, también se documenta la producción rastreada bajo el estándar académico NBIC, y en este caso se usa como base la metodología propuesta por Jamali *et al* (2018), que permite identificar, entre las cuatro áreas básicas, cuáles han tenido mayores interacciones en Colombia.

Se detalla a continuación la ecuación de búsqueda que se usó para identificar las publicaciones en esta área; la comparación entre la producción académica de Colombia, Chile, México y Brasil evidencia que Colombia es visible en el conjunto de publicaciones latinoamericanas pero su papel está por debajo del de todos los países enunciados. Los resultados también muestran que la producción en las áreas independientes es alta (Tabla 3.3); por otro lado, las convergencias son comparativamente escasas, aunque no de manera homogénea. Las áreas con mayores niveles de convergencia son nanotecnología y biotecnología, seguida de tecnologías de la información y biotecnología (ver Tabla 3.4).

Gráfica 3.7. Ecuación de búsqueda para las áreas NBIC
Fuente: Elaboración propia

TS= (((Nano* and bio*) not (info* or cogn* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Nano* and info*) not (bio* or cogn* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Nano* and cogn*) not (info* or bio* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Cogn* and info*) not (nano* or bio* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Cogn* and bio*) not (info* or nano* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Info* and bio*) not (nano* or cogn* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Nano* and info* and bio*) not (cogno* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Nano* and info* and cogn*) not (bio* or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or ((Info* and bio* and cogn*) not (nano or informative or inform or information or biome or biodiversity)) or (nano* and info* and cogn* and bio*)) and cu=Colombia

Tablas 3.3. Comparación de la producción académica colombiana con referentes internacionales en las áreas básicas NBIC

País	Nano	Bio	Info	Cogno
Colombia	1503	8791	829	1172
Chile	2565	13588	196	1703
México	8775	29615	419	2161
Brasil	192386	100618	1458	7767

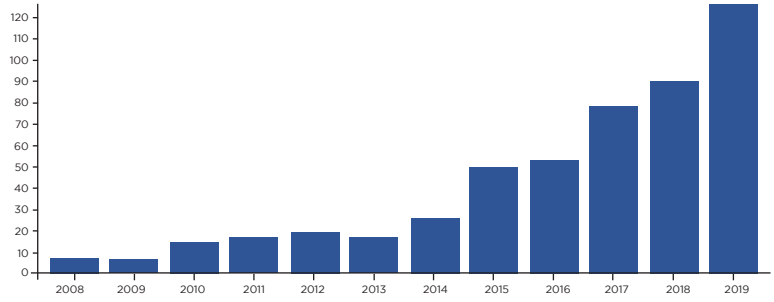
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Rastreo de convergencias en las áreas NBIC

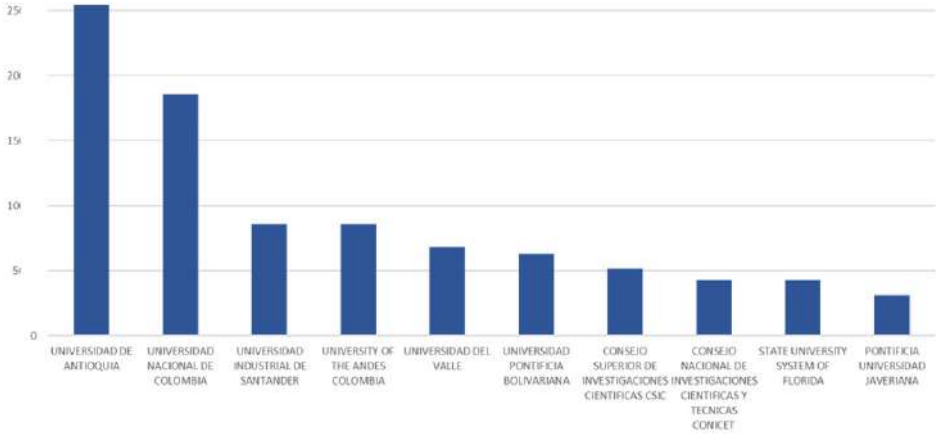
País	Nano*-bio	Nano* -info	Nano* -cogno	Cogno -info	Info -bio	Cogno -bio
Colombia	294	2	0	0	33	0
Chile	617	0	0	0	39	0
México	1686	3	0	0	99	0
Brasil	5342	7	0	1	283	0

Fuente: Elaboración propia

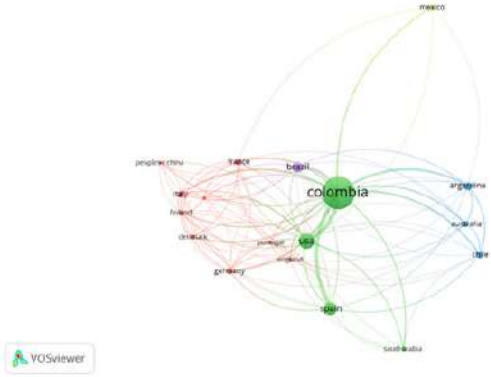
La Gráfica 3.8 permite destacar el rápido crecimiento de las publicaciones colombianas en el tema durante la última década. También se incluyen los resultados que muestran cuáles son las instituciones con mayor número de publicaciones sobre estas temáticas (ver Gráfica 3.9) y el mapa de sus relaciones internacionales (ver Gráfica 3.10). Y la Gráfica 3.11 se construye a partir de los términos dominantes en los artículos, y evidencia el protagonismo de la nanotecnología y la presencia dominante del área de la salud.



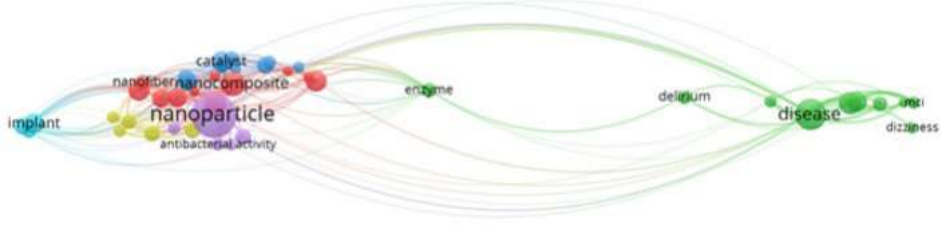
Gráfica 3.8. Evolución e impacto de las publicaciones en el área NBIC en Colombia (2009-2019)
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS



Gráfica 3.9. Instituciones con mayor número de publicaciones en el área NBIC en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS



Gráfica 3.10. Redes de colaboración internacional en el área NBIC en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS



Gráfica 3.11. Términos recurrentes en las publicaciones NBIC en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS

Publicaciones en el área de Industrias 4.0

Las publicaciones asociadas a las temáticas que agrupamos en torno a la cuarta revolución industrial fueron detectadas a partir de la siguiente ecuación de búsqueda (ver Gráfica 3.12). En este caso el término "and" no es protagonista en la búsqueda; la existencia misma de estas temáticas es fruto de la convergencia de disciplinas, por ejemplo, la inteligencia artificial ha implicado ya la convergencia de las matemáticas (optimización,

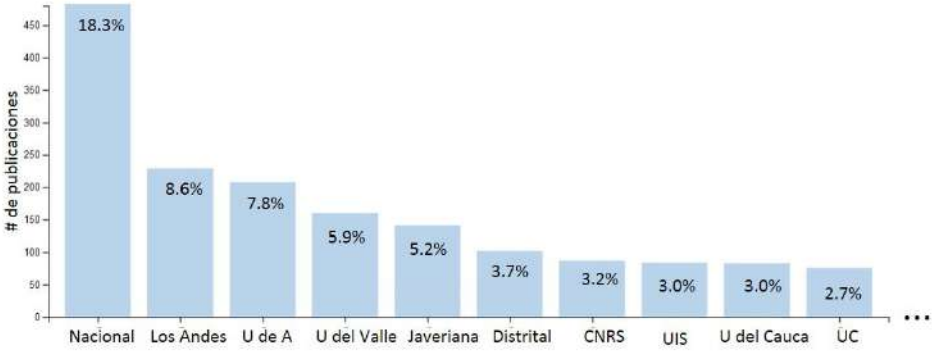
TS=(Cyber-physical systems OR Internet of things/services OR Smart data OR Big data OR Data mining OR Artificial intelligence OR Smart factory OR Additive manufacturing OR 3d printing OR Virtual reality OR Augmented reality OR Collaborative robots OR Blockchain OR Cloud computing OR Cybersecurity OR Gamification OR Digital Transformation OR DNA computation OR Cryptography OR Advanced manufacturing technology OR Adware OR Aerial systems OR Affective computing OR Agent architecture OR AI-Based Methods OR Amazon web service OR Artificial Narrow Intelligence OR Artificial neural network OR Automation Technologies OR Autonomous Vehicle OR Robotics OR Big Table OR Biological manufacturing system OR Botnet OR Business impact analysis BIA OR Business Intelligence OR Cognitive computing OR Complex event processing OR Compliant Assembly OR Computer Vision for Automation OR Computer vision for manufacturing OR Computer Vision for Medical Robotics OR Contact modelling OR Data pre-processing OR Deep learning OR Environment Monitoring and Management OR Expert system OR Failure Detection OR Generative Adversarial Networks OR Human Factors and Human-in-the-Loop OR Natural Machine Motion OR Reinforcement learning OR RGB-D Perception OR Robot Companions OR Software as a service OR Space Robotics and Automation OR Strong AI OR Supervised learning OR Support vector machines OR Surveillance Systems OR Swarm behavior OR Technological development OR Technology management OR Visual Learning OR Visual

Gráfica 3.12. Ecuación de búsqueda para las publicaciones asociadas a la Cuarta Revolución Industrial
Fuente: Elaboración propia

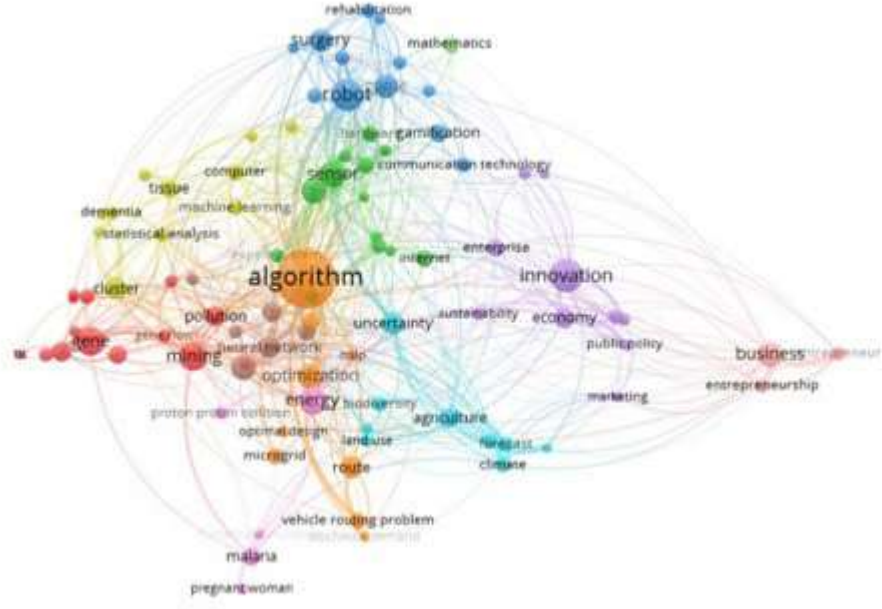
estadística, probabilística); la algoritmia, las ciencias cognitivas, etc.; el internet de las cosas es producto de los avances en redes de información y sensórica; esta a su vez es producto de la convergencia de la óptica, la mecánica, la electrónica, la informática, etc.

Los resultados de la búsqueda muestran también, para esta área, un acelerado crecimiento en la producción académica de los últimos años (ver Gráfica 3.13). La Gráfica 3.14 muestra cuáles han sido las instituciones que más han publicado sobre estas temáticas durante el período de análisis. La Gráfica 3.15 muestra que las revistas que albergan las publicaciones son en su mayoría de carácter nacional. Finalmente, la Gráfica 3.16 representa los términos más recurrentes en las publicaciones, de la cual se infiere la dominancia del área del software, la robótica y la analítica de datos.

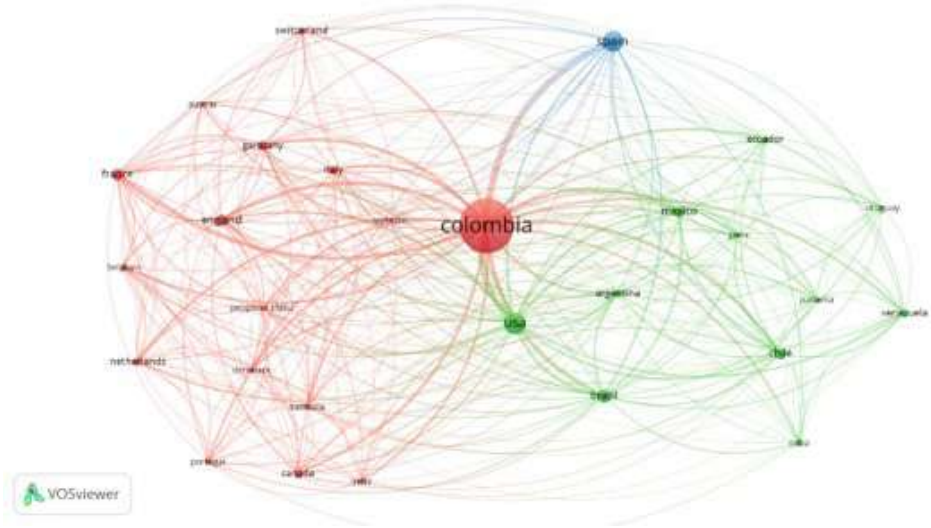
Gráfica 3.13. Evolución e impacto de las publicaciones en el área de Industria 4.0 en Colombia (2009-2019)
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS



Gráfica 3.14. Instituciones con mayor número de publicaciones en las áreas de la Industria 4.0 en Colombia.
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS



Gráfica 3.15. Términos recurrentes en las publicaciones de áreas de la Industria 4.0 en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS

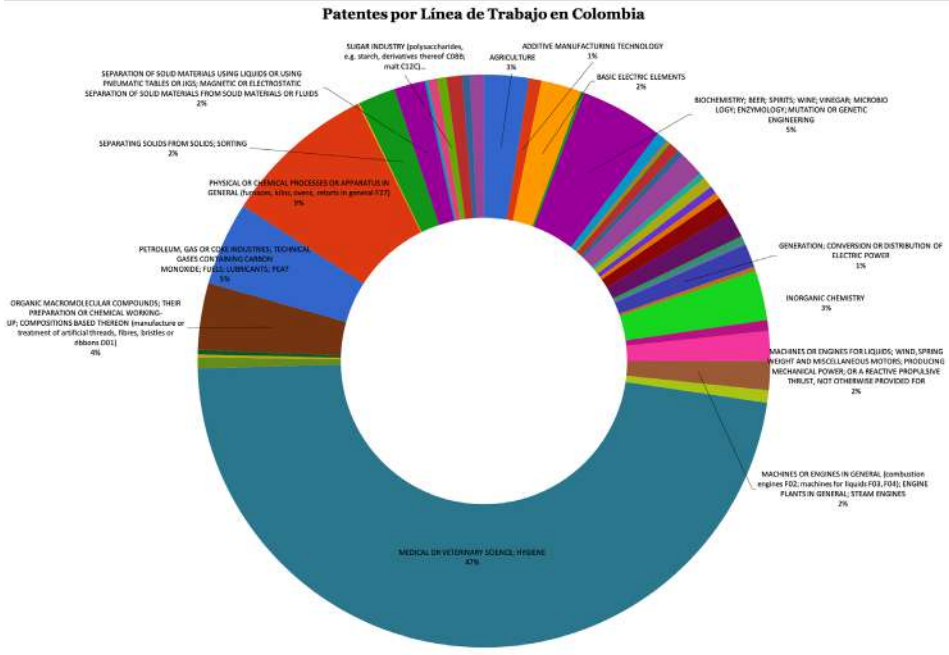


Gráfica 3.16. Redes de colaboración internacional en el área Industria 4.0 en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de información en WOS

Patentes

El rastreo de la producción de patentes en Colombia partió del reconocimiento de las empresas con mayor inversión en I+D, y de otras consultas, para determinar la posición del país en el tema de propiedad intelectual, basados en las patentes registradas por las instituciones cuyas descripciones involucran el tema de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0. La búsqueda se hizo a través de la plataforma web de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) y Espacenet, herramienta desarrollada por la Organización Europea de Patentes (OEP).

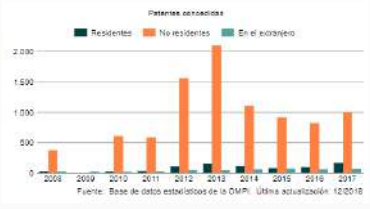
Los siguientes resultados fueron filtrados por el tipo de informe según el recuento total de patentes según su origen, concedidas por el sector tecnología (haciendo filtro de aquellas ramas específicas que involucran este foco) y en el periodo de tiempo 2009-2017. Para el rastreo se seleccionaron, además, aquellos países latinoamericanos considerados como competencias directas de Colombia: México, Argentina, Brasil y Chile.



Gráfica 3.19. Patentes por línea de trabajo relevante
Fuente: Espacenet (abril, 2019)

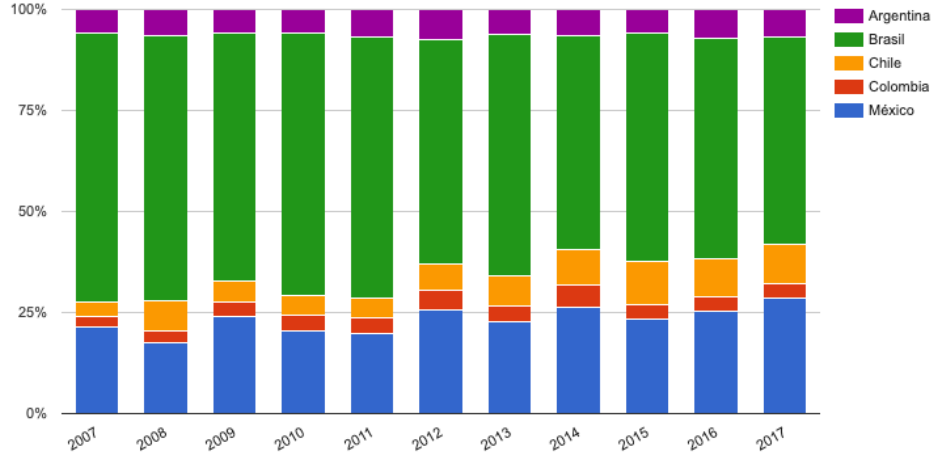
Patentes concedidas

Año	Residentes	No residentes	En el extranjero
2008	31	378	27
2009			26
2010	26	613	22
2011	34	583	31
2012	106	1.561	47
2013	160	2.104	46
2014	112	1.100	60
2015	82	921	74
2016	99	818	61
2017	166	998	68



Solicitudes de modelo de utilidad

Año	Residentes	No residentes	En el extranjero
2008	179	16	3
2009	201	11	6
2010	166	22	1
2011	214	19	5
2012	253	24	24
2013	224	37	18
2014	178	21	2
2015	193	24	11
2016	248	22	10
2017	191	25	11



Principales solicitantes en virtud del PCT

Solicitantes en virtud del PCT	2015	2016	2017
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	1	5	9
UNIVERSIDAD EAFIT	2	9	8
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	1	5	5
CEMENTOS ARGOS S.A.			4
INSTITUCION UNIVERSITARIA SALAZAR Y HERRERA		1	4
CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC		1	3
CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA-CORPOICA		1	2
INDUSTRIAS MEDICAS SAMPEDRO S.A.S.			2
INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO		2	2
SISCOAX S.A.S.			2

Año	Patente	Marca	Dibujo o modelo industrial	PIB (Constante 2011 USD)
2008	202	19.140	123	473,59
2009	258	17.109	143	481,41
2010	241	21.461	146	500,53
2011	403	22.123	193	533,51
2012	348	25.323	234	555,09
2013	382	24.349	380	582,14
2014	461	25.465	293	607,72
2015	559	30.276	429	626,27
2016	751	30.002	339	639,06
2017	784	29.636	377	650,36

Citación de publicaciones colombianas en el proceso de registro de patentes

Una de las preguntas vigentes en el ejercicio de la bibliometría es la medición del impacto de las publicaciones académicas sobre la producción de nuevas aplicaciones, materializada en el registro de patentes de invención. La plataforma LENS.org integra bases de datos de patentes con bases de datos académicas y permite conocer el impacto de la producción académica sobre la generación de nuevas tecnologías, métodos o formas de uso. Utilizando esta plataforma se identificó el número de veces en que fueron citados trabajos académicos vinculados a Colombia en patentes internacionales referidas a las temáticas del foco (ver Tabla 3.5). Estos resultados muestran que la participación de Colombia es mínima en ambos casos; sin embargo, la participación en citaciones dentro de las patentes es 69 veces mayor que la magnitud de la participación en la producción de las mismas. Este puede interpretarse como un potencial que no está siendo aprovechado al máximo, ya que los investigadores del país producen conocimiento, pero no lo apropian con el mismo éxito.

Tabla 3.5. Impacto de la producción académica sobre la generación mundial de patentes

-	Porcentaje
Participación en la construcción del conocimiento que soporta la patente	0,0256
Participación en la generación de patentes	0,0008

Fuente: Elaboración propia a partir de información de *Lens serves global patent*

Atracción de dinero inteligente (sector productivo)

La idea tradicional de financiación de la investigación o la innovación ha migrado hacia el concepto de ecosistema de innovación, entendido como el entorno que facilita el tránsito de la generación de conocimiento a la comercialización o uso de elementos derivados de su aplicación. En este

proceso, universidad, empresa y Estado han sido los actores fundamentales. La información que se presenta en esta sección describe la participación de las empresas en la generación y apropiación de conocimiento en Colombia, Se consideran dos grandes temas: niveles de innovación y apropiación tecnológica en la industria y las cifras de inversión en ciencia y tecnología en cada uno de los estamentos involucrados.

Innovación y apropiación tecnológica por parte de la industria

Colciencias indica que de 1.478 empresas colombianas catalogadas como "empresas innovadoras", solo 30 se consideran altamente innovadoras (Colciencias, 2019). De forma paralela, datos de la encuesta bianual de los sectores manufacturero y servicios (2016-2017) muestran que para un total de 16.598 empresas encuestadas, solo 31 son innovadoras en "sentido estricto" y 3.345, innovadoras en "sentido amplio" (Dane, 2017).

Otro elemento fundamental en el análisis es la disparidad en los niveles de apropiación tecnológica entre las grandes empresas y aquellas clasificadas como pequeñas y medianas empresas (Katz, 2017). La Tabla 3.6 muestra dichos niveles en áreas como ciberseguridad, computación en la nube, internet de las cosas, etc. Los resultados son particularmente importantes si se tiene en cuenta que, según cifras del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, en 2016 las micro, pequeñas y medianas empresas, Mipymes, representan el 99,9% de los establecimientos productivos, contribuyen con el 80% del empleo en el país y aportan el 40% del Producto Interno Bruto Nacional (Mincomercio, 2016). En niveles de apropiación de la internet, las redes sociales o las plataformas de pago electrónico también son mínimos en las Pymes. Datos de la encuesta MinTIC 2018 muestran que los niveles de uso de internet para gestiones como compras, ventas y pagos están entre el 30 y el 35%. El nivel de interacción con entidades gubernamentales es más alto a través de estos medios y oscila entre el 40 y el 45%. Todos estos datos permiten poner las Pymes en el foco de atención

Tabla 3.6. Apropiación de tecnologías 4.0 por tamaño de empresa en Colombia

Pilar	Tecnología	Nacional	Grandes	Pymes	Micros
Infraestructura	Ciberseguridad	32.2%	67.2%	37.1%	25.4%
	Computación en la nube	19.1%	48.8%	22.9%	13.6%
Procesamiento	Internet de las cosas	9.0%	14.8%	9.3%	8.2%
	Robótica	1.5%	11.1%	1.2%	0.6%
	Impresión 3D	2.2%	4.8%	2.1%	2.1%
	Realidad virtual	1.0%	1.7%	0.9%	1.0%
Distribución	*Big data*	3.2%	16.8%	4.0%	1.3%
	Inteligencia *artificial*	1.8%	9.7%	2.4%	0.7%
	Blockchain	1.6%	5.9%	1.6%	1.1%

Fuente: Tomado de Katz (2017)

y, a su vez, sobre ellas, grandes oportunidades de mejoramiento con un impacto indiscutible sobre la productividad global del país.

El tema de las Pymes es crítico, no solo por sus bajos niveles de apropiación sino por sus resultados. Uno de los retos más grandes de estas empresas es cerrar las brechas en comparación con las grandes compañías. Según Mincomercio (2016) una Pyme colombiana necesita dos empleados para producir el mismo valor agregado que un solo trabajador de una gran empresa. Esta información introduce una reflexión importante sobre la necesidad de modernizar los mecanismos que permitirán financiar las actividades de ACT e Í+D+i en Colombia, para cerrar brechas regionales, brechas entre las grandes empresas y las Pymes, y potenciar el valor de la relación entre el sector productivo y el sector académico.

Inversión en innovación, ciencia y tecnología

La industria colombiana reporta, a través de la Encuesta nacional de innovación del DANE, inversiones en ACTeI de más de 1.13 billones de

pesos anuales, que equivalen al 55% de la inversión total nacional; este hecho se ilustra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Participación del sector privado en la financiación de las actividades ACTeI en Colombia

Tipo de institución Type of institution	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	2018**
Instituciones de educación superior	40,82%	37,35%	37,84%	38,11%	31,06%	29,05%	27,80%	23,32%	18,53%
Empresas	23,15%	23,99%	29,56%	23,96%	42,62%	44,65%	48,39%	49,31%	53,57%
Centros de investigación y desarrollo tecnológico	20,86%	25,53%	20,37%	20,07%	14,56%	14,36%	15,09%	16,77%	16,69%
Entidades gubernamentales	8,86%	7,24%	8,64%	15,03%	8,95%	9,64%	6,47%	8,20%	8,71%
IPSFL al servicio de las empresas	3,79%	3,45%	1,47%	1,27%	1,10%	1,05%	1,07%	1,21%	1,18%
Hospitales y clínicas	1,60%	1,48%	1,54%	1,03%	1,07%	0,81%	0,71%	0,64%	0,70%
ONG, asociaciones y agremiaciones profesionales	0,92%	0,96%	0,58%	0,53%	0,65%	0,44%	0,48%	0,55%	0,62%
Total (millones de pesos de 2014 / million COP of 2014)	**1.214.027**	**1.366.865**	**1.622.111**	**1.976.011**	**2.331.665**	**2.275.771**	**2.145.911**	**1.976.614**	**2.064.844**

Fuente: Tomado de OCyT (2018)

Cálculos: OCyT
*Cifras provisionales **Cifras proyectadas

Sector productivo asociado a las Tecnologías convergentes NBIC o Industria 4.0 en Colombia y su impacto económico

Las encuestas manufacturera y de servicios del DANE son la base para estimar la intensidad de conocimiento en la economía del país. El ejercicio se plantea a partir de la participación de los subsectores más relacionados con las áreas del foco, en relación con el total de las ventas o ingresos, valor agregado y empleo. En el sector manufacturero se consideraron los

siguientes subsectores: productos informáticos, electrónicos y ópticos, aparatos y equipos eléctricos, maquinaria y equipos n.c.p., vehículos automotores, remolques y semirremolques. Para el caso del sector servicios se incluyeron: desarrollo de sistemas informáticos, procesamiento de datos y actividades profesionales, científicas y técnicas. La Tabla 3.8 contiene la información que describe la participación de los subsectores con mayor intensidad de conocimiento, sobre los ingresos, empleos y valor agregado de los grandes sectores de manufactura y de servicios. Se aclara que en ambos casos puede haber errores de sobrestimación, pues no todas las actividades enmarcadas en estos grandes subgrupos productivos están directamente relacionadas con las temáticas del foco.

Tabla 3.8 Participación porcentual de los subsectores con mayor intensidad de conocimiento, sobre las ingresos, empleos y valor agregado de los grandes sectores de manufactura y de servicios

Sector	Ingresos %	Empleos %	valor agregado total %
Servicios	9	3	13
Manufactura	6	8	5

Fuente: Tomado de *Encuestas manufacturera y de servicios* (DANE, 2015-2016)

Indicadores de seguimiento

La síntesis del diagnóstico es presentada en la Tabla 3.9, como el conjunto de indicadores clave que describirán el avance del país hacia el desarrollo de las áreas de Tecnologías convergentes e Industria 4.0. Dentro de los indicadores del sistema educativo seleccionamos el desempeño de los estudiantes de educación básica en matemáticas, lectura y ciencias naturales, el bilingüismo y la alfabetización digital; la disponibilidad de internet en las instituciones educativas del país es también un elemento de seguimiento indispensable. El número de estudiantes que desde el nivel técnico o profesional siguen áreas afines al foco en su formación superior

es importante para estimar la masa crítica a cargo de la transformación del país. Como medida de la capacidad creativa y la productividad del talento humano, se incluyen las publicaciones académicas y patentes. La inmersión de la industria en relación con la nueva revolución industrial se describe mediante los niveles de formación del personal vinculado a actividades productivas y la participación relativa de los sectores de alta intensidad de conocimiento en la economía nacional.

Tabla 3.9. Indicadores de seguimiento para variables representativas del desarrollo de las Tencologías Convergentes y la Industria 4.0 en Colombia

Calidad de la educación básica y media		
Indicador	**Fuente**	**Línea base 2019**
Porcentaje de estudiantes con desempeño medio y alto en matemáticas	Pruebas PISA	34
Porcentaje de estudiantes con desempeño medio y alto en lectura crítica	Pruebas PISA	56
Porcentaje de estudiantes con desempeño medio y alto en ciencias naturales	Pruebas PISA	51
Bilinguismo: porcentaje de estudiantes con nivel superior a A2	Pruebas Saber - Colombia	5
Alfabetización digital		
Indicador	**Fuente**	**Línea base 2019**
Porcentaje de colegios urbanos con conexión a internet	Ministerio de Educación	65
Porcentaje de colegios rurales con conexión a internet	Ministerio de Educación	25
Número de estudiantes en áreas del foco en la educación superior		
Matriculados en programas técnicos y tecnológicos	SNIES	176.160
Matriculados en programas profesionales	SNIES	235.316
Matriculados en maestrías	SNIES	6.925
Matriculados en doctorados	SNIES	2.483
Producción académica y patentes		
Número de publicaciones en áreas NBIC en el año 2019	Web of Science	138
Número de publicaciones en áreas de Industria 4.0 en el año 2019	Web of Science	401
Número de patentes en áreas NBIC e Industria 4.0 (2009-2017)	OMPI	1232

Sector Productivo		
Porcentaje del personal laborando en el sector manufacturero, con algún tipo de formación superior	DANE	37
Número total de doctores laborando en el sector manufacturero	DANE	421
Número de empresas altamente innovadoras	Colciencias-DANE	30
Tamaño de la economía NBIC e Industria 4.0	Ventas de las empresas del sector servicios,en sectores seleccionados,* en pesos	15.219.391.805
Tamaño de la economía NBIC e Industria 4.0	Ventas de las empresas manufactureras en sectores seleccionados,** en pesos	12.796.422.785

* Subsectores seleccionados en el sector servicios: servicios informáticos; gestión de la información; actividades científicas y técnicas.
** Subsectores seleccionados en el sector manufactura: productos informáticos, electrónicos y ópticos; aparatos y equipos eléctricos; maquinaria y equipos n.c.p.; vehículos automotores, remolques y semirremolques.

Fuente: Elaboración propia

Los datos para el año base 2019 muestran algunas fortalezas en cuanto al tamaño de la masa crítica formada en alguno de los niveles de la educación superior pero, sin lugar a dudas, Colombia tiene un largo camino por recorrer en términos de educación básica y productividad económica.

Rerefencias

Banco Mundial y Colciencias (2015). *Evaluación del programa de la diáspora de alto reconocimiento. informe final*. Consultor: Omar López Olarte.

DANE (2016-2017). *Encuesta de Desarrollo e Innovación tecnológica*. Tomado de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit

DANE (2015-2016). *Encuesta Anual Manufacturera y de Servicios*. Tomado de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam

Jamali, H. R., Azadi-Ahmadabadi, G. y Asadi, S. (2018). Interdisciplinary relations of converging technologies: Nano–Bio–Info–Cogno (NBIC). *Scientometrics*, *116*(2), 1055-1073.

MinTIC, Cámara de Comercio de Bogotá (2017). *Observatorio de la Economía Digital de Colombia*. Informe Final. Consultor: Raúl L. Katz. Tomado de https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-61929_recurso_4.pdf

República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación (2018). *Pacto por la transformación digital*.

The Economist Intelligence Unit y ABB (2018). *Who is ready for the coming wave of automation? the automation readiness index*.

República de Colombia, Sistema nacional de información de la Educación Superior. Ministerio de Educación. *Información Estadística*. Tomado de https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Revista Dinero (2016). *Pymes contribuyen con más del 80 % del empleo en Colombia*. Tomado de https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/la-mipymes-colombianas-contribuyen-con-cifras-de-empleo-2016/221479

Universidad de Cornell, WIPO y Instead (2019). Global Innovation Index. Tomado de https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4434

Epílogo

La transición para la Nueva Colombia después de la crisis causada por la Covid-19

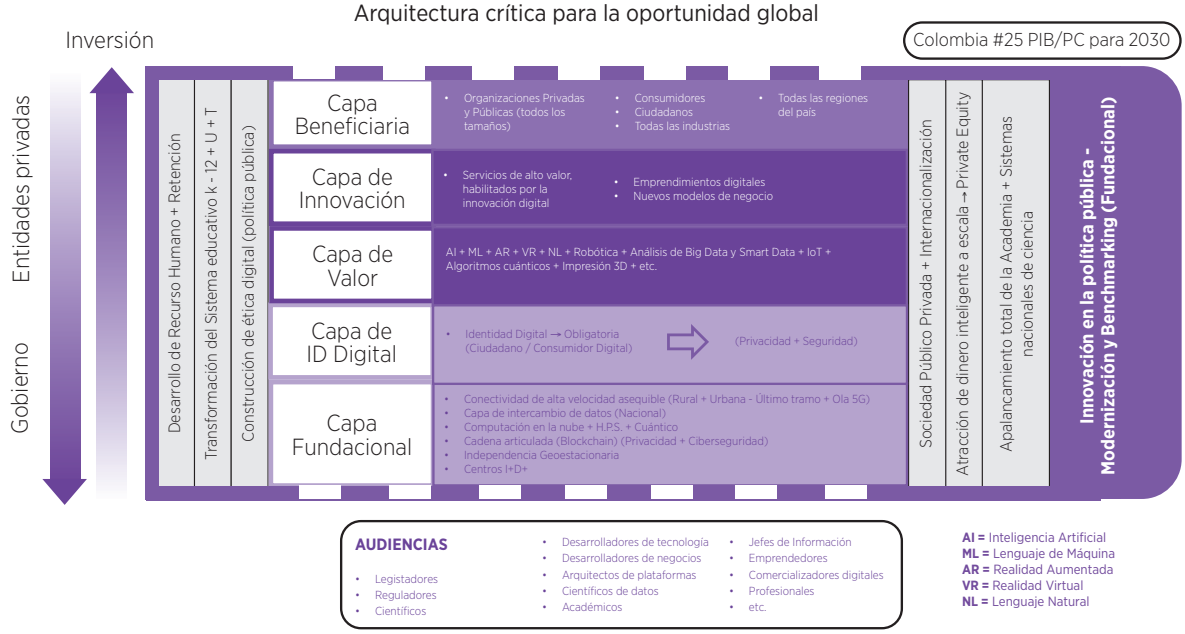
Maria del Pilar Noriega E., Tim Andreas Osswald,
Jean Paul Allain y Orlando Ayala

Gran parte de la infraestructura que hace parte de la *arquitectura crítica* propuesta por los miembros de este foco temático está en construcción (ver Gráfica 4.1). La *capa fundacional* que requiere conectividad para todo el país está en curso. La cobertura de internet al año 2019 fue de aproximadamente 60% (30.9 millones), según cifras del DANE, considerando también el internet móvil. Es importante aclarar que las cifras de cobertura en las regiones apartadas y territorios rurales son inferiores en número y en calidad. Por lo tanto, es necesario convocar y hacer una invitación amplia para crear un esfuerzo nacional público-privado, con los incentivos adecuados, para atraer inversión nacional e internacional,

así como conocimiento del sector privado (i.e. operadores y empresas de tecnología) para crear las mejores condiciones con la meta de universalidad de banda ancha de calidad para el año 2030. La cobertura de internet en el ámbito global al mes de abril de 2020 fue de 59%, 4.540 millones de personas (Statista, 2020).

Se proyecta una expansión de cobertura en internet en Colombia hasta lograr que el 90% de la población tenga una buena conectividad. Si bien esto es una visión a largo plazo, en un horizonte de 2030, para una Colombia equitativa, la cobertura deberá ser del 100% con velocidades 4G o mayores. Con lo anterior, todos los colombianos (*capa beneficiaria*) tendrán acceso y podrán contribuir o participar de los beneficios de la teleeducación, telemedicina, teletrabajo, inclusión financiera, acceso a energía y electricidad de bajo costo, datos e información inteligente *(Smart data)*, agricultura inteligente *(Agritech)*, nuevos negocios y servicios de alto valor agregado, emprendimientos digitales, entre otros.

Gráfica 4.1. Arquitectura crítica para la oportunidad global de Colombia
Fuente: Elaboración propia



Además, cumpliendo con la propuesta de una *capa de identificación digital,* con la debida protección en términos de privacidad y seguridad, Colombia está en proceso de asignar una identificación o cédula digital a cada ciudadano. La cédula incluirá la historia clínica y datos biográficos de la persona. Actualmente se asignan identificaciones digitales a los que llegan a la edad requerida y por reemplazo de la cédula o duplicado. Por tal motivo, deben darse incentivos para que los colombianos deseen formar parte de este nuevo método, de tal manera que el 100% de la población tenga una identificación o cédula digital. El éxito práctico de esta plataforma de identificación digital dependerá de que los sistemas digitales de gobierno se hagan accesibles y estén conectados a través de una capa de interconexión de datos que permita el ofrecimiento de servicios ciudadanos con gran agilidad y transparencia.

Con la cobertura adecuada y moderna de internet y la identificación o cédula digital, Colombia acelerará la democratización de datos e información inteligente. En esta democratización, el campo de la educación será el más beneficiado. Por ejemplo, el problema del bilingüismo en Colombia puede resolverse. Este es un resultado temprano que puede implementarse a nivel nacional, de tal manera que las mismas lecciones de inglés y las unidades de inmersión bilingües pueden hacerse accesibles a todos en el país.

En cuanto a la retención y atracción del talento humano, podemos crear una red donde los colombianos de la diáspora puedan conectarse y contribuir desde el extranjero, acercando al país a las redes globales de conocimiento, y los colombianos que se encuentran en instituciones educativas y de investigación colombianas podrán difundir su información al resto del mundo. La Misión de Sabios 2019 fue un excelente ejemplo de trabajo conjunto entre los miembros residentes en Colombia y los residentes en el exterior.

Dicho esto, una actitud científica abierta tendrá un precio. La democratización de la información abre puertas a información no valiosa, a veces falsa, de bajo valor. El desafío es crear un sistema de investigación que no cruce las líneas de censura. Se pueden usar modelos existentes, como los que usan las revistas de acceso abierto (i.e. ciencia abierta u *open science*), que son revisadas por pares y donde el costo de la infraestructura

está cubierto por las tarifas de publicación. Sin embargo, tales tarifas deben prorratearse para garantizar que el derecho de publicación también se democratice.

La *capa de innovación* se aceleró con la crisis de la Covid-19, ejemplo de esto fueron los nuevos productos y servicios en el mercado nacional con proyecciones de exportación. Algunos de ellos son:

- Educación *online* en colegios y universidades a través de plataformas "Aprender Digital" y otras, programación en canales locales y en radios y emisoras comunitarias. Aunque también se evidenció significativos desafíos de inclusión para la niñez que no tiene acceso a conectividad y dispositivos para ese propósito. Esta es una de las lecciones aprendidas que nos debe enfocar en la meta de conectividad y educación universal como derecho básico para una *Colombia equitativa*.
- Teletrabajo o Home Office ampliamente implementado en el sector privado y público a través de plataformas como Google Meet, Microsoft Teams, Zoom, Skype, Webex, Hangouts, entre otras, las cuales han aumentado la productividad, con efectos positivos en la reducción del impacto ambiental por la menor cantidad de desplazamientos en las ciudades.
- Nuevas Plataformas de domicilios para generar ingresos, tales como iFood, Domicilios.com, Uber Eats, Merqueo, Brochero, tiendacercanapostobon.com y otras. La primera plataforma de amplia penetración en Colombia fue Rappi.
- Aplicativos o herramientas para detectar y monitorear casos de Covid-19 para mitigar el impacto de la pandemia.
- Fabricación de desinfectantes, alcohol etílico e isopropílico (IPA) y alcohol glicerinado, por parte de las licoreras e ingenios, por ejemplo, Fábrica de Licores de Antioquia (FLA) en Medellín e ingenios azucareros en el Valle del Cauca.
- Fabricación de respiradores artificiales por la alianza Haceb (electrodomésticos), EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia),

Industrias Médicas Sampedro con apoyo de Ruta N, Postobón, BID y Bancolombia, entre otros.
- Fabricación de tapabocas reutilizables por las empresas textileras y de confección, por ejemplo, Familia, Grupo Crystal: GEF, Punto Blanco, Bay Fresh, Galax y otras.
- Fabricación de trajes de bioseguridad por las empresas textileras Fabricato, Coltejer, Grupo Crystal, entre muchas.

Finalmente, es necesario enfocar una política pública inteligente para habilitar las recomendaciones entregadas por la Misión de Sabios el 5 de diciembre de 2019, así como otras recomendaciones mencionadas en este epílogo.

Referencias

Statista (2020). *Global digital population.* Disponible en https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/

Foros regio

Barreras y oportunidades para las Tecnologías convergentes e Industrias 4.0 en Colombia

nales

Entendiendo la importancia de la discusión con los actores regionales del ecosistema CTeI, en las áreas Nano, Info, Bio, Cogno e Industrias 4.0, la Universidad EAFIT convocó a un gran foro regional desarrollado en Medellín, la Universidad del Norte a uno en Barranquilla, y finalmente, EAFIT, en alianza con instituciones de los Santanderes, los Llanos y el Pacífico Sur, complementaron el trabajo de articulación de actores con gran representación nacional. Los foros se desarrollaron a través de la conformación de grupos de trabajo que tuvieron preguntas orientadoras para la discusión. Cada grupo dejó memorias de su trabajo que han quedado en el conjunto de productos de la misión.

Las siguientes páginas describen los elementos más representativos de cada uno de los eventos, que contó con particularidades claramente reconocibles y un gran elemento común: la necesidad de mayor articulación entre la universidad y el sector productivo.

Foro regional Villavicencio

"El sentido de la educación, más allá de las asignaturas, está en los proyectos que integran los conocimientos y las experiencias, que orientados por la cotidianidad y sus problemas se vuelven útiles al progreso".
Asistentes al foro regional, Villavicencio.

El viernes 13 de septiembre se llevó a cabo el foro regional sobre Barreras y Oportunidades para las Tecnologías convergentes NBIC e Industrias 4.0 en la Biblioteca Pública Municipal Germán Arciniegas de la ciudad de Villaviencio. El desarrollo del foro fue producto de la coordinación interinstitucional del SENA (seccional Villavicencio) y la Universidad EAFIT. El evento contó con la participación de 32 personas, casi todas pertenecientes al sector académico, específicamente del SENA, universidades locales y en menor medida, representantes de empresas.

Los asistentes concentraron una parte importante de sus comentarios en el tema de la educación. Ven en este tema una condición fundamental de desarrollo científico y tecnológico para la región. Entre las grandes barreras

locales, se resaltan el manejo de una segunda lengua y la alfabetización digital. Se anota también que las universidades del Llano no cuentan con recursos robustos para la investigación, su sostenimiento está muy ligado a los aportes en matrículas que a su vez, están muy ligadas a la coyuntura económica local.

Hay una particularidad en la gran región llanera que resulta fundamental en la conversación y es el manejo de las regalías. Siendo estas una gran fuente de financiación para el sector CTeI en Colombia, y dado que una porción significativa de estos recursos procede de la industria petrolera del piedemonte llanero, la corrupción en la gestión de estos recursos es un hecho que se marcó de forma significativa en la discusión. Las regalías serían la fuente de financiación de los programas que el público regional reclama y de la infraestructura física requerida para el desarrollo regional.

Dentro del contexto particular de la región, también se destaca el obstáculo de la centralización de la información, que dificulta el acceso a las oportunidades, bien sea subregistro, desactualización y falta de acceso.

Por otro lado, la región incursiona muy tímidamente en los temas de investigación y no tiene perspectiva sobre la incorporación de esa área en el sector productivo; por eso se resalta la importancia de crear un gran mapa regional del conocimiento, que haga visibles esfuerzos y avances regionales. Entre los actores y capacidades destacados se mencionan desarrollos del sector agroindustrial, los laboratorios de biotecnologías del SENA, Parquesoft Villavicencio y CODALTEC, corporación de alta tecnología.

Equipo organizador del evento en el SENA Villavicencio

- Billialdo Tello - Director regional
- Bertha Ramirez - Subdirectora regional
- Óscar Castro - Líder de dirreccionamiento estratégico
- Elsa Bohorquez -Representante de la Dirección Nacional
- Marta Jiménez -Selección de aprendices

Foro regional Bucaramanga

"Una solución: mejorar la confianza del sector industrial
y darle más flexibilidad al sector académico".
"La ley de cine como estímulo exitoso a replicar
en el área NBIC e Industria 4.0".

El foro regional para los Santanderes se llevó a cabo en la sede de la Universidad Industrial de Santander, el 29 de agosto de 2019; contó con la participación dominante de profesores de la UIS, aunque también hubo participación del SENA, de la Universidad de Pamplona y algunos representantes del sector empresarial.

El conjunto de discusiones en 6 mesas de trabajo, visibiliza el valor que la región encuentra en la relación universidad-empresa, muy guiado por las dos instituciones clave en el desarrollo CTeI local, la UIS y Ecopetrol. Alrededor de esta experiencia, surge del foro una propuesta concreta de alta replicabilidad: la posibilidad de que los profesores universitarios hagan pasantías en la industria, para alimentar el ecosistema CTeI en dos

sentidos, dotando a la universidad de problemáticas que dinamicen el proceso de aprendizaje; y a la empresa, de las soluciones rigurosas, robustas y creativas que el medio académico puede ofrecer. El resultado común es un sistema en el que la interacción potencia los resultados en términos de generación de conocimiento e impacto social y económico.

Una segunda propuesta entre los asistentes al foro se basa en el valioso ejemplo que reconocen a partir de la Ley de Cine expedida en el año 2003, gracias a la cual la industria cinematográfica del país ha logrado un crecimiento constante y sostenido. La ley da un respaldo a la industria cinematográfica del país, asegurando financiación, la generación de concursos que garantizan calidad y el estímulo a la reproducción de las películas, documentales y cortometrajes nacionales. El valor de esta ley no solo ha estado dado por los estímulos propuestos sino por la continuidad de los mismos en un período relativamente largo. A partir de esta experiencia puede hacerse una analogía válida, generando una ley para el sector NBIC e Industrias 4.0, basada en ambas condiciones: oferta de recursos financieros y continuidad en el tiempo de las estrategias de estímulo.

Al desarrollo del foro prosiguió una visita al Parque Tecnológico de Guatiguará, el proyecto urbanístico, tecnológico y empresarial más avanzado dentro de la política de parques tecnológicos establecida por el Gobierno Nacional. En sus predios funcionan 14 centros de investigación que trabajan con el sector productivo nacional y están próximas a instalarse las dos primeras empresas de base tecnológica que darán inicio al componente empresarial del proyecto. La experiencia acumulada durante los últimos 9 años en el trabajo de corporaciones privadas, centros y grupos universitarios de investigación, haciendo transferencia tecnológica a empresas localizadas en diversos rincones del país, hacen de este proyecto una alternativa promisoria para sus huéspedes, una oportunidad económica para los inversionistas y una fuente de rendimientos sociales para la región y el país.[2]

2 Para conocer más información, consultar: https://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/guatiguara/

Foro regional Popayán

"Generar rutas de transferencia de conocimiento en las regiones".

Para el foro regional en Popayán, desarrollado el 30 de agosto de 2019, la Universidad del Cauca y CreaTIC Cauca convocaron a académicos y empresarios del Cauca y Valle del Cauca. Como ponencia introductoria se presentó una conferencia sobre Manufactura 4.0 para la industria de la moda a cargo de Universidad Jesuita de Guadalajara.

La discusión en las diferentes mesas de trabajo tuvo temáticas recurrentes: (i) la urgencia de crear estrategias que permitan una mayor integración regional al sistema CTeI; (ii) la necesidad de articulación entre la universidad y el sector productivo; y (iii) el potencial de mejoramiento del sector productivo a partir de la alfabetización digital de los tomadores de decisiones. En este contexto, podría considerarse que el aporte más significativo de la discusión fue el llamado a estimular procesos de investigación conectados con el contexto regional.

Finalmente, se resaltaron voces de protesta frente al sentido aislamiento regional. Algunos de los asistentes llaman la atención sobre la puntualidad o discontinuidad entre las interacciones con las entidades centrales del sistema CTeI, que en su sentir, visitan solo para atender situaciones coyunturales. Es indispensable mantener mecanismos que permitan una interacción constante, pertinente y de alto impacto.

Foro regional Medellín

El foro en la Universidad EAFIT se inició con la presentación global de la misión y tres charlas magistrales sobre el estado del ecosistema CTeI alrededor de las temáticas del foco. El primer invitado fue el profesor Óscar Herrera, director del *cluster* NBIC de la Universidad Central en Bogotá, grupo pionero en Colombia en el reconocimiento explícito de lo que significa la convergencia tecnológica. Posteriormente, Daniela Quintero, coordinadora de innovación de la Andi, habló sobre el informe denominado *Cierre de brechas de innovación y tecnología para Colombia,* elaborado por la entidad en asocio con Innpulsa. El informe reconoce el potencial de desarrollo para los sectores dominantes en la economía del país, de áreas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la nanotecnología o la robótica. Finalmente, Elkin Echeverri, director de Planeación de RutaN, habló sobre la gestión de la entidad como agente de estímulo a la innovación en la ciudad.

La siguiente fase del foro consistió en la discusión de expertos, a partir del documento *Barreras y Oportunidades para el desarrollo de las tecnologías convergentes e Industria 4.0 en Colombia,* construido por la secretaría técnica del Foco. Los 90 asistentes al foro se dividieron en 14 mesas de discusión que contaron cada una con un coordinador y un relator. Después de 3 horas de trabajo en grupo, se desarrolló una plenaria donde un representante de cada mesa hizo una síntesis de las principales conclusiones de la conversación. El relator de cada mesa hizo además una descripción muy detallada de las ideas, críticas y propuestas de su grupo. A

partir de la plenaria final y del conjunto de relatos, se identifican grandes conclusiones del foro, descritas a continuación, según sus ejes temáticos:

Educación

La comunidad convocada reconoce de manera unánime, en las relatorías de cada una de las mesas de trabajo, la importancia del sustento que el CTeI tiene sobre el sistema de educación básica. "Fortalecer la base de la pirámide de la educación del país permitirá que se llegue a los niveles más altos de manera más natural".

Regionalización

Los asistentes al foro también reconocen al sistema educativo como una oportunidad de integración y equilibrio nacional, y proponen el estímulo al desarrollo de pasantías de intercambio académico no solo entre estudiantes sino también entre docentes, entre las diferentes instituciones educativas del país. A través de este tipo de pasantías será posible encontrar nuevos sentidos al proceso de investigación y también se podrá fortalecer, a través de apoyo técnico, el sistema productivo regional.

Relación universidad-empresa-Ecosistema CTeI

La complejidad del actual sistema CTeI dificulta el reconocimiento entre los actores y, por lo tanto, el aprovechamiento de su potencial pleno. Un sistema de información centralizado y de libre acceso, así como una reducción en la complejidad en la categorización y número de entidades, sería más eficiente.

Respecto a la educación superior, una apreciación común en las mesas de trabajo fue la necesidad de flexibilización curricular y el trabajo interdisciplinario. La convergencia tecnológica está necesariamente vinculada a ambos hechos y requiere una modificación sustancial en el sistema educativo superior. El talento humano es fundamental para la transformación, pero debe tratarse de un talento renovado en las formas

de interacción con sus pares. Adicionalmente, hay gran acuerdo sobre la necesidad de transformar las universidades colombianas en instituciones de docencia con investigación.

Algunos de los asistentes critican el protagonismo que la innovación está teniendo en el sistema CTeI, donde, según ellos, "se busca materializar muchas ideas innovadoras dentro de las empresas, pero realmente el tema investigativo se ha olvidado, siendo pilar fundamental para la innovación".

Financiación

En relación al tema de financiación, hay dos tipos de observaciones entre los asistentes: el esquema de financiación de Minciencias se caracteriza por demandar muchos esfuerzos dispersos, a través de muchas convocatorias que demandan tiempo y ofrecen montos de financiación bajos. Es válido pensar en reducir el número de convocatorias e incrementar sus cuantías. Pocos grandes programas bien financiados podrían tener mayor impacto que muchos programas con escasos fondos.

Así mismo, Minciencias concentra el gran peso de la financiación de la investigación en el país. Es urgente incrementar el número de opciones, atrayendo fondos de capital de riesgo procedentes del sector privado. Una estrategia en este sentido es hacer más efectivo el sistema de beneficios tributarios.

Regulación

Las discusiones a lo largo del día evidenciaron que los investigadores y la industria perciben el sistema regulatorio como un obstáculo en lugar de ser un apoyo. Altos costos y trámites de importación de insumos y exportación de materiales para análisis en el exterior, manejo de sustancias reguladas, dificultades burocráticas en la obtención de licencias para la investigación alrededor de los recursos genéticos se convierten en grandes restricciones, y la complejidad del sistema de propiedad intelectual son los principales obstáculos declarados.

Comisionados y relatores

Comisionados

PhD. María del Pilar Noriega Escobar

Doctora en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Wisconsin-Madison, Estados Unidos (2001). Posee dos posgrados en química de la Universidad Técnica de Dresde, Alemania y en extrusión del Instituto de la Tecnología del Plástico de la Universidad de Stuttgart, Alemania. Ingeniera química de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia.

Tiene certificaciones en Propiedad Intelectual, nivel avanzado, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Es coautora de cinco libros técnicos y artículos en revistas internacionales; coinventora de cuatro patentes de invención otorgadas en Colombia, dos patentes de invención otorgadas en Estados Unidos, cuatro solicitudes internacionales de patente de invención y una solicitud de patente nacional.

Embajadora científica del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) desde 2017, y vicepresidenta de la Asociación Antioqueña de Profesionales con Estudios en Alemania (ASPA) desde 2013. *Fellow* de la Sociedad de Ingenieros del Plástico (SPE) de Estados Unidos, así como, miembro del consejo directivo de la división de extrusión. Fue nombrada miembro de la Misión de Sabios en febrero de 2019 y es coordinadora del Foco temático de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0.

Su trayectoria en investigación y docencia se desarrolló en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC), en

donde desempeñó diferentes cargos desde su inauguración en 1993. Fue su Directora General de junio de 2012 a junio de 2019, y su asesora de junio de 2019 a junio de 2020. Actualmente es Directora de investigación, desarrollo e innovación de un consorcio internacional con enfoque en química verde y biorefinerías.

Dr. Orlando Ayala

Durante 38 años en la industria de tecnología y 24 años de historia en Microsoft, Ayala fungió en varios roles de liderazgo, uniéndose a la compañía en marzo de 1991 como director sénior encargado de establecer operaciones en Latinoamérica. Abrió 33 subsidiarias siendo Vicepresidente Sénior para la región intercontinental (países en el hemisferio sur), antes de asumir en 1999 como Vicepresidente Ejecutivo Global de Ventas, Mercadeo y Servicios, manejando 40 mil personas y más de 50 mil millones de dólares de ventas en 115 subsidiarias a nivel mundial. En este cargo tuvo la oportunidad de trabajar por varios años cerca a Bill Gates, siendo integrante de su equipo directivo. Ayala también lideró el grupo mundial de soluciones para pequeñas y medianas empresas y canales de distribución, asumiendo simultáneamente el rol de Jefe de Operaciones (COO) para el naciente negocio de ERP y CRM - Microsoft Dynamics.

Además de estas responsabilidades de ingresos, utilidades, desarrollo de líderes y equipos de alto rendimiento, Ayala enfocó sus esfuerzos en dar más acceso tecnológico y entrenamiento digital a los ampliamente ignorados segmentos de la población de bajos recursos, esto con la intención de habilitar soluciones generadoras de beneficios significativos que permitieran construir un futuro mejor para estas comunidades vulnerables. Siempre ha estado comprometido en establecer asociaciones altamente innovadoras entre empresas de tecnología, gobiernos, NGOs y academia, etc., que puedan ampliar poderosamente el impacto del uso de la tecnología y la educación, encontrando nuevos modelos que ayuden a realizar el gran potencial de cada miembro de la sociedad. Como parte de ese esfuerzo, Ayala fue

asesor sénior del comité de tecnología del Foro Económico Mundial. Este trabajo lo inspiró a incubar, en el 2012, la iniciativa del Plan Nacional de Microsoft, la cual se enfoca en empoderar a gobiernos nacionales, locales y provinciales en el desarrollo de la infraestructura digital, los programas educacionales y el potencial de su recurso humano, convirtiéndolos en grandes capacidades sociales y claras ventajas de competitividad.

En su último *rol global* como Presidente de negocios emergentes, Ayala fue un catalizador del crecimiento y desarrollo de nuevas iniciativas innovadoras en Microsoft, incentivando colaboraciones internas y externas para ayudar a habilitar el éxito a largo plazo de modelos de nuevos negocios. Tomando ventaja de la tecnología como una gran fuerza transformadora, Ayala es reconocido por acelerar el crecimiento con audiencias emergentes, nuevos segmentos y mercados alrededor del mundo. Como parte de ese trabajo, creó un equipo de transformación digital para la industria mundial de los deportes, comenzando con un gran acuerdo con el club de fútbol español Real Madrid C.F., que incluyó tecnologías de computación en la nube, gran analítica de datos e inteligencia artificial, habilitando la relación de *dos-vías* entre el club de fútbol y sus 500 millones de seguidores a nivel mundial.

Fue nombrado asesor del Gobierno colombiano como miembro de la Misión de Sabios 2019. Actualmente es un activo consultor y expositor internacional, enfocado en liderazgo y tendencias tecnológicas con énfasis en la creación de innovaciones éticas que habiliten el potencial humano. Ayala también participa como director independiente de tres juntas directivas: de Centene Corp., desde Septiembre 2011; de Ecopetrol, desde Abril 2019; y como consejero de junta de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, desde 2007.

Ha sido merecedor de los siguientes reconocimientos nacionales e internacionales: Microsoft, premio global de liderazgo, otorgado por Bill Gates (2007); Colombiano ejemplar residente en el exterior, de *El Colombiano* (2013); condecoración Orden Civil de Alfonso X "el Sabio", otorgada por el Ministerio español de Educación y Deportes (2013).

PhD. Jean Paul Allain

Es profesor titular y jefe del Ken and Mary Alice Lindquist, Departamento de Ingeniería Nuclear, en Penn State University. Es titular de la cátedra Lloyd and Dorothy Foehr Huck de Medicina del Plasma. El Dr. Allain está afiliado con el Huck Institutes for Life Sciences y con el Instituto de Ciencias Computacionales y de Datos, donde es profesor invitado en el área de ingeniería biomédica. Fue profesor y jefe asociado de los programas de posgrado en el Departamento de Ingeniería Nuclear, Plasma y Radiológica de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (UIUC) (2013-2019), y fue profesor asistente y asociado de Ingeniería Nuclear en la Universidad de Purdue (2007-2013). Obtuvo una maestría y un doctorado en Ingeniería Nuclear de la UIUC y una licenciatura en Ingeniería Mecánica de la Universidad Cal Poly Pomona. Dirige el Laboratorio de Ciencia e Ingeniería de Radiación de Superficies (RSSEL) y es autor de más de 280 artículos de investigación experimental y computacional en el área de interacciones de partículas y plasma con superficies. Su grupo diseña nanoestructuras autoorganizadas con síntesis de irradiación dirigida y nanosíntesis de plasma dirigida para permitir propiedades multifuncionales y de múltiples escalas en la superficie e interfaces de materiales compuestos. Las áreas de investigación de su grupo incluyen: biointerfaces funcionales avanzadas, interfaces de fusión nuclear avanzadas, ciencia de superficies de irradiación computacional de múltiples escalas, materiales funcionales nanoestructurados y de química verde, interfaces adaptables y autorreparables, nanofabricación sostenible y diagnósticos de superficies de materiales *in situ* y en funcionamiento.

El profesor Allain ha recibido numerosos premios que incluyen: Premio del Laboratorio Nacional de Argonne (2003-2006); Premios al Mejor Maestro en Purdue (2008) y en Illinois (2013); Premio de Early Career del Departamento de Energía (2010); Premio a la Excelencia en Investigación (2011); Fulbright Scholar Award (2015); Faculty Entrepreneurial Fellow (2016); Dean's Excellence in Research Award (2017); American Nuclear Society Fusion Energy Division Technology Achievement Award (2018).

Fue nombrado miembro de la Misión de Sabios en 2019 en el foco temático de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0, y fue elevado a IEEE Senior Member en 2019.

PhD. Tim Andreas Osswald

Profesor de ingeniería mecánica y director del Centro de Ingeniería de Polímeros de la Universidad de Wisconsin-Madison. Doctorado en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign en el campo del procesamiento de polímeros. Becario Alexander von Humboldt en el Instituto de Procesamiento de Plásticos (IKV) en Aquisgrán, Alemania. Profesor Honorario de la Universidad de Erlangen-Nuremberg, Alemania, desde 2006 y Profesor Honorario de la Universidad Nacional de Colombia desde 2011.

El profesor Osswald ha publicado más de 300 artículos, los libros *Materials Science of Polymers for Engineers* (Hanser, 1996, 2003, 2012), *Polymer Processing Fundamentals* (Hanser 1998), *Injection Molding Handbook* (Hanser, 2001, 2007), *Compression Molding* (Hanser, 2003), *Modelación y simulación del procesamiento de polímeros (Hanser 2006), Manual Internacional de Plásticos* (Hanser 2006), *Pruebas y caracterización de plásticos* (Hanser, 2008), *Comprensión del procesamiento de polímeros* (2010, 2017), *Reología de polímeros* (Hanser 2015) *y Compuestos de fibras discontinuas* (2020). Sus libros han sido traducidos al italiano, alemán, español, japonés, chino, coreano y ruso.

Editor para las Américas del *Journal of Polymer Engineering* y es editor en lengua inglesa del *Journal of Plastics Technology.* El profesor Osswald es miembro del Consejo Asesor Científico de varias industrias, es uno de los cofundadores de The Madison Group y es miembro de la Misión de Sabios del foco temático de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0.

Relatores

Dra. Mónica Álvarez-Láinez

Profesora titular del Departamento de Ingeniería de diseño de producto de la Universidad EAFIT, ingeniera química de la Universidad Nacional y con doctorado en Física de Materiales (énfasis Polímeros) de la Universidad de Valladolid e Investigador Sénior de Minciencias. Ha sido profesora de ingeniería de materiales de la Universidad de Antioquia (2007-2008) y actualmente es miembro del grupo en investigación en ingeniería de diseño (GRID). Ha sido invitada a presentar diferentes ponencias en el país y ha desarrollado varios proyectos de investigación con el apoyo de Minciencias y de varias empresas de la región. De igual manera, interactúa con diferentes grupos de investigación, tanto nacionales como internacionales.

Sus prinicales intereses investigativos son: nanotecnología, desarrollo de polímeros de alto rendimiento (basado en mezclas de polímeros), sistemas poliméricos funcionales (con características en la nanoescala), desarrollo de materiales híbridos, desarrollo de sistemas de filtración y materiales poliméricos a partir de productos de origen natural. Hizo parte de la Iniciativa Regional de Innovación de Nanotecnología –IRI-, liderada por Ruta N, de la comisión académica para la generación de una política regional de nanotecnología y modelo de negocio. Fue miembro del comité asesor para el Centro Nacional de Nanotecnología y del comité 243 del ICONTEC para la creación de Normas técnicas colombianas en nanotecnología.

Cuenta con más de 20 publicaciones en revistas nacionales e internacionales, 3 capítulos de libros, una participación como editora del libro *Fundamentos en nanotecnología,* dos solicitudes de patente en proceso, un secreto industrial, más de 70 ponencias en eventos nacionales e internacionales. Además, ha sido invitada a presentar diferentes ponencias en el país, ha participado activamente como investigadora principal o coinvestigadora en más de 20 proyectos de investigación financiados por la Universidad EAFIT, Minciencias, el fondo CTi del Sistema General de Regalías y por empresas. Ha dirigido más de 20 tesis, entre pregrado, maestría y doctorado.

PhD. Elías David Niño-Ruiz

Es egresado del programa de Ingeniería de sistemas y computación de la Universidad del Norte, del año 2007. En la misma institución culminó sus estudios de Maestría en Ingeniería de sistemas (2009) y de la Maestría en Ingeniería industrial (2010). Sus investigaciones se enfocaron en problemas de naturaleza combinatoria. Durante sus estudios, las investigaciones que realizó recibieron el máximo reconocimiento por parte de la institución. Obtuvo el Diploma de Doctor en Ciencias de la Computación y Aplicaciones por medio de Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), en el año 2015. En este nivel de escolaridad, diseñó e implementó mecanismos de asimilación de datos para la estimación de dinámicas en procesos geofísicos. Esto le permitió apoyar a entidades de los Estados Unidos tales como: Argonne National Lab (Illinois, USA), Lawrence Livermore National Lab (California, USA) y Deparment of Enviromental Quality (Virginia, USA). Actualmente se desempeña como director del Departamento de Ingeniería de sistemas de la Universidad del Norte y director del Laboratorio de Matemáticas aplicadas y ciencias de la computación en la misma institución. Adicionalmente, apoya a la firma CorrelationOne+ Harvard en la capacitación de científicos de datos en Colombia.

Sus investigaciones han recibido distinciones de entidades referentes en temas de ciencias de la computación, tales como Elsevier (*Journal of*

Computational Science). Con regularidad edita volúmenes en revistas internacionales como *International Journal of Artificial Intelligence* y *Atmosphere*. Además, ha sido invitado de honor en conferencias sobre ciencias de la computación, tales como la International Workshop on Data Assimilation (Japón, 2018) y The 15th International Enkf Workshop (Noruega, 2020). Sus líneas de investigación son asimilación de datos y problemas inversos. Bajo estas temáticas ha formado y supervisado a estudiantes de posgrados en distintas universidades del país.

Colombia y la nueva
revolución industrial

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 volumen corresponde a las contribuciones realizadas por el Foco de Tecnologías Convergentes —Nano, Bio, Info y Cogno— e Industrias 4.0, cuyas recomendaciones sobre la educación, la infraestructura digital estratégica, la inversión inteligente, la innovación para crear valor y equidad, la atracción de capital privado y talento internacional, la política pública acompañada de regulaciones modernas, entre otros pilares, conforman una arquitectura crítica para la innovación y la oportunidad global para el país.

9 789585 135109