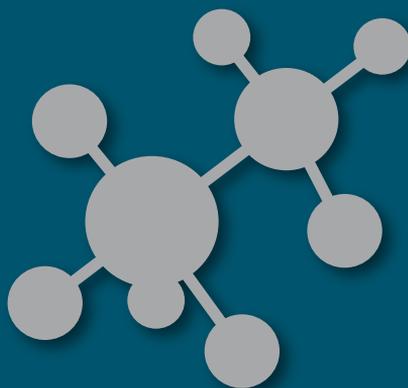


Prospectiva UN

Agendas de Conocimiento



04

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y MINERALES

PLAN GLOBAL DE DESARROLLO 2010-2012
Prospectiva UN - Agendas de Conocimiento

Agenda:
**CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
MATERIALES Y MINERALES**

PLAN GLOBAL DE DESARROLLO 2010-2012
Prospectiva UN - Agendas de Conocimiento

Agenda: CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y MINERALES

Autores:

Profesores - Grupo de expertos participantes

Pablo de Jesús Abad Mejía
Carlos Guillermo Paucar Álvarez
Óscar Jaime Restrepo Baena
Jairo Roa Rojas
Jairo Arbey Rodríguez Martínez
Andrés Rosales Rivera
Janneth Torres Agredo
Carlos Alberto Vargas Jiménez
Juan Manuel Vélez Restrepo
César Javier Vinasco Vallejo

Coordinación metodológica:

Profesores:

Jorge Robledo Velásquez
Gabriel Awad Aubad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Bogotá, 2013

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Abad Mejía, Pablo de Jesús, 1951-Agenda : ciencia y tecnología de materiales y minerales / Grupo de expertos participantes Pablo de Jesús Abad Mejía ... [y otros nueve] ; coordinación metodológica Jorge Robledo Velásquez, Gabriel Alberto Awad Aubad. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación, 2013. 136 páginas : ilustraciones – (Agendas de conocimiento) Incluye referencias bibliográficas

ISBN : 978-958-761-576-0 (rústica) – ISBN : 978-958-761-578-4 (impresión bajo demanda) – ISBN : 978-958-761-577-7 (e-book)

1. Educación superior - Planificación - Colombia - 2010-2012 2. Investigación y desarrollo - Enseñanza superior - Colombia - 2010-2012 3. Estrategias para el desarrollo - Investigaciones 4. Gestión del conocimiento 5. Ciencia de los materiales 6. Materiales - Transferencia de tecnología 7. Mineralogía - Investigaciones I. Paucar Álvarez, Carlos Guillermo, 1964- II. Restrepo Baena, Oscar Jaime, 1967- III. Roa Rojas, Jairo, 1964- IV. Rodríguez Martínez, Jairo Arbey, 1955- V. Rosales Rivera, Andrés, 1955- VI. Torres Agredo, Janneth, 1976- VII. Vargas Jiménez, Carlos Alberto, 1968- VIII. Vélez Restrepo, Juan Manuel, 1955- IX. Vinasco Vallejo, César Javier X. Robledo Velásquez, Jorge, 1955-, coordinador XI. Awad Aubad, Gabriel Alberto, 1963-, coordinador XII. Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación XIII. Título XIV. Otro título : Ciencia y tecnología de materiales y minerales XV. Otro título : Plan Global de Desarrollo 2010-2012. Prospectiva UN – Agendas de conocimiento XVI. Serie

CDD-21 378.107 / 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

RECTORÍA

Ignacio Mantilla Prada (2012 - actualidad)

Moisés Wasserman Lerner (2006-2012)

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Alexánder Gómez Mejía (2012 - actualidad)

Rafael Alberto Molina Gallego (2008-2012)

Dirección General Proyecto Agendas de Conocimiento

Profesor Rafael Molina Gallego

Coordinación técnica

Profesores:

Jenny Marcela Sánchez Torres, asesora VRI

Carlos Alberto Rodríguez Romero, Grupo Griego

Grupo de apoyo conceptual:

Profesores facilitadores:

Jorge Robledo Velásquez

Gabriel Awad Aubad

Profesional de apoyo

Adriana del Pilar Sánchez Vargas

Vigías

Diana Carolina Ríos Echeverri

Corrección de estilo

Martha Elena Reyes

Diseño y diagramación:

Andrés Camilo Gantiva - Diseñador Gráfico

Unidad de Publicaciones Facultad de Ingeniería

Primera edición, 2013

© Universidad Nacional de Colombia

Vicerrectoría de Investigación

© Autores:

Pablo de Jesús Abad Mejía

Carlos Guillermo Paucar Álvarez

Óscar Jaime Restrepo Baena

Jairo Roa Rojas

Jairo Arbey Rodríguez Martínez

Andrés Rosales Rivera

Janneth Torres Agredo

Carlos Alberto Vargas Jiménez

Juan Manuel Vélez Restrepo

César Javier Vinasco Vallejo

ISBN: 978-958-761-576-0 (rústica)

ISBN: 978-958-761-578-4 (impresión bajo demanda)

ISBN: 978-958-761-577-7 (e-book)

Impreso y hecho en Bogotá, Colombia

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

Vicerrectoría de Investigación

Avenida El Dorado # 44A - 40

Hemeroteca Nacional – Oficina 403

Teléfono: 57-1-316 5000 Ext. 20077

Correo electrónico: vicinvest_nal@unal.edu.co

www.unal.edu.co

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	11
PRESENTACIÓN	13
INTRODUCCIÓN	19
1. DIAGNÓSTICO GENERAL E INSTITUCIONAL	23
1.1 Panorama internacional de investigación en ciencia y tecnología de materiales y minerales	23
1.2 Panorama nacional de investigación en ciencia y tecnología de materiales y minerales	26
1.3 Apuestas gubernamentales en la última década	30
1.4 Esfuerzos institucionales en la definición de agendas de investigación	34
1.5 Capacidades de investigación del entorno colombiano e institucional	36
1.5.1 Capacidades de investigación del entorno colombiano	37
1.5.2 Capacidades de investigación del entorno institucional	39
1.6 Formas de interacción de las agendas, antecedentes del ajuste institucional y del trabajo de los escenaristas	48
2. VISIÓN DE FUTURO: LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PROPUESTOS	51
2.1 Objetivo general	51
2.2 Objetivos específicos	51
2.3 Metas	52
2.4 Alcance	52
2.5 Potenciadores e inhibidores	53
2.6 Propuesta inicial de temáticas existentes y emergentes	53
2.7 Determinación de énfasis institucionales	58
2.8 Elementos vinculantes	60
3. ANÁLISIS PROSPECTIVO PARA CONSOLIDAR UNA VISIÓN DE FUTURO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y MINERALES	61
3.1 Resumen ejecutivo de los resultados de la encuesta prospectiva	61

3.1.1	Ficha técnica de la encuesta	62
3.1.2	Perfil de los encuestados	63
3.1.3	Valoración de objetivos, metas y alcance	66
3.1.4	Valoración de potenciadores e inhibidores	67
3.1.5	Valoración de las áreas temáticas	68
3.2	Resumen de las realimentaciones en las jornadas de discusión con la comunidad académica	73
3.3	Proyectos propuestos por la comunidad académica	74

BIBLIOGRAFÍA		79
---------------------	--	----

ANEXOS		87
Anexo 1.	Metodología para la construcción de las agendas de conocimiento	87
Anexo 2.	Macrotendencias de la Agenda CTMM	97
Anexo 3.	Expertos de la Agenda CTMM	127
Anexo 4.	Integrantes de los diferentes equipos de trabajo que apoyan el Proyecto Agendas de Conocimiento	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes de las agendas de conocimiento PGD 2010-2012	16
Figura 2.	Esquema general del sistema integrado de las agendas de conocimiento	17
Figura 3.	Grupos de investigación de la Agenda CTMM por sedes	40
Figura 4.	Categoría de los docentes en la Agenda CTMM	41
Figura 5.	Nivel de formación de los docentes vinculados a los grupos de investigación relacionados con la Agenda CTMM	42
Figura 6.	Categoría de productos de la Agenda CTMM	43
Figura 7.	Productos de nuevo conocimiento por sede de la Agenda CTMM	44
Figura 8.	Productos de formación	44
Figura 9.	Productos de apropiación social	45
Figura 10.	Proyectos de investigación y extensión de la Agenda CTMM	46
Figura 11.	Capital estructural, institutos y centros de la UN relacionados con la Agenda CTMM	46
Figura 12.	Capital relacional, instituciones externas con las que se han desarrollado proyectos	47
Figura 13.	Árbol de conocimiento de la Agenda CTMM con áreas, temas subtemas	54
Figura 14.	Tetraedro de la ciencia de los materiales	55
Figura 15.	Capacidades acumuladas de la Agenda CTMM	59
Figura 16.	Dispersión de las capacidades de la Agenda CTMM por áreas	59
Figura 17.	Resumen gráfico primera aplicación encuesta prospectiva a directores de grupos de investigación de la UN	64
Figura 18.	Resumen gráfico segunda aplicación encuesta prospectiva a investigadores de la UN	65
Figura 19.	Valoración del grado de acuerdo con los objetivos propuestos en la Agenda CTMM	66
Figura 20.	Valoración del grado de acuerdo con las metas propuestas en la Agenda CTMM	67
Figura 21.	Valoración del grado de acuerdo con los alcances propuestos en la Agenda CTMM	67
Figura 22.	Promedio de importancia de investigación para el desarrollo de los temas	70
Figura 23.	Capacidades de la UN para desarrollar investigación en los	

	temas de la Agenda CTMM	71
Figura 24.	Índice de importancia de investigación	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Necesidades en investigación y tecnología planteadas por la Sociedad de Investigación de Materiales	24
Tabla 2.	Estrategias gubernamentales relacionadas con la Agenda CTMM (Plan Nacional para el Desarrollo Minero 2006-2019 y PND 2010-2014)	31
Tabla 3.	Temas prioritarios en las regiones, a partir de discusiones de Colciencias en el marco de la asignación de recursos de regalías	33
Tabla 4.	PUI, CAI y PRE relacionados con la Agenda CTMM	35
Tabla 5.	Lineamientos básicos del Plan Estratégico de Investigación 2005-2017 relacionados con la Agenda CTMM	36
Tabla 6.	Distribución de los grupos de investigación en el país en temas de la Agenda CTMM por áreas de conocimiento	38
Tabla 7.	Distribución de programas de educación superior en temas afines a la Agenda CTMM	39
Tabla 8.	Potenciadores e inhibidores Agenda CTMM	53
Tabla 9.	Elementos vinculantes Agenda CTMM con las otras agendas de conocimiento propuestas por la VRI	60
Tabla 10.	Ficha técnica de la encuesta prospectiva primera recolección, población directores de grupos de investigación	62
Tabla 11.	Ficha técnica de la encuesta prospectiva segunda recolección, población investigadores	63
Tabla 12.	Tiempo de materialización en años de los temas	72
Tabla 13.	Propuestas de proyectos y temas de investigación en el área de tecnología e innovación de materiales	75
Tabla 14.	Propuestas de proyectos y temas de investigación en el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente	77
Tabla 15.	Reuniones efectuadas en la Agenda CTMM durante el proyecto	95
Tabla 16.	Requerimientos futuros de investigación en ciencia y tecnología de materiales	97
Tabla 17.	Tendencias y requerimientos de investigación para nuevos materiales en Estados Unidos	98
Tabla 18.	Tendencias y requerimientos de investigación para materiales y minería en Europa, India, Japón y Australia	99
Tabla 19.	Tópicos de investigación priorizados hasta el año 2020 en la ciencia de los materiales	102

Tabla 20.	Listado de temas de investigación en ciencia de los materiales a partir de bases de datos de <i>Web of Science</i> entre 2006-2010	102
Tabla 21.	Requerimientos en investigación para maderas y fibras	104
Tabla 22.	Requerimientos en investigación para metales	106
Tabla 23.	Requerimientos en investigación para polímeros	107
Tabla 24.	Áreas de aplicación y necesidades de investigación en cerámicas avanzadas	109
Tabla 25.	Tendencias y requerimientos en investigación para los nuevos materiales	113
Tabla 26.	Subdominios de investigación en previsiones para tecnologías en materiales y nanotecnología de acuerdo con estudios Delphi en Japón, Taiwan y China	117
Tabla 27.	Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en nanotecnología para Taiwan	118
Tabla 28.	Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en investigación en ciencia de los materiales para China	118
Tabla 29.	Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en investigación de materiales y nanotecnología para Japón	119
Tabla 30.	Tendencias y requerimientos en investigación para el procesamiento de materiales	120
Tabla 31.	Tendencias y requerimientos en investigación en recursos naturales no renovables y medio ambiente	123
Tabla 32.	Expertos de la Agenda CTMM	127
Tabla 33.	Integrantes equipo de apoyo logístico y coordinación	131
Tabla 34.	Integrantes equipo técnico de gestión de la información VRI	131
Tabla 35.	Vigías de la Agenda CTMM	132

PRESENTACIÓN¹

El presente libro hace parte de una serie de documentos producto del proceso llevado a cabo dentro del Plan Global de Desarrollo, PGD, 2010-2012 de la Universidad Nacional de Colombia, UN, bajo la rectoría del profesor Moisés Wasserman y en el marco del Proyecto Agendas de Conocimiento, coordinado por la Vicerrectoría de Investigación, VRI. En esta ocasión se presenta el resultado del proceso en la Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales, en adelante CTMM. Con el fin de contextualizar al lector, a continuación se describen brevemente algunos de los principales aspectos que fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto en su conjunto.

Una lectura global de los distintos sistemas de investigación, bien sea de bloques de países (ej., Comunidad Europea), de países desarrollados o de universidades o institutos de investigación de reputación internacional, refleja cómo el proceso para construir las denominadas sociedades del conocimiento ha requerido instrumentos diversos que permiten contar con formas distintas de mapas conceptuales claros, que identifican sus propias capacidades en investigación, sus temáticas de interés, y facilita el monitoreo permanente de los nuevos desarrollos y tendencias, lo cual, en su conjunto, permite revisar, replantear o generar políticas en materia de investigación, haciendo cada vez más eficientes los sistemas de ciencia, tecnología e innovación, CTI. A diferencia de lo que ocurre en las latitudes mencionadas, Colombia y sus instituciones académicas en general cuentan aún con muy precarios sistemas de información y estrategias de investigación (nacional, regional o institucionales) que puedan servir como instrumento de definición de política en CTI, de toma de decisiones objetiva basada en información validada y en tiempo real o como escenario de pensamiento y gestión permanente del conocimiento que permita estructurar prospectivas a corto, mediano y largo plazo articuladas con el futuro del país en la dinámica del mundo globalizado.

Lo anterior no desconoce algunos ejercicios e intentos del ámbito nacional que se han realizado, particularmente en las últimas tres décadas. Entre ellos se cuenta el Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, SNCTI, en cabeza de Colciencias y su plataforma ScienTi, que ha generado diversas experiencias y particularmente ha puesto de manifiesto, aunque en forma empírica, la evolución de los grupos de investigación

1 La presente reflexión es parcialmente tomada del libro *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación.* (2012), y replicada, como eje articulador, en la presentación de todas y cada una de las agendas específicas.

en cada uno de los Programas Nacionales de CTI definidos por dicha entidad. De otro lado, y por iniciativas privadas o públicas, algunos ejercicios de prospectiva se han desarrollado para unas temáticas específicas y limitadas a algunos ministerios, institutos o centros de investigación, especialmente en el periodo 2003-2008. La UN ha intentado en otras épocas generar sistemas que identifiquen las áreas de conocimiento que desarrolla, proponiendo Programas Universitarios de Investigación, PUI (1990-1993), o posteriormente los denominados Campos de Acción Institucional, CAI, soportados en Programas Estratégicos, PRE (1999-2003), o consecutivamente, para el PGD de la Universidad (2007-2009) se definieron los Programas Estratégicos de Investigación mediante el fortalecimiento de redes académicas. Infortunadamente, ninguna de estas iniciativas en la UN trascendió la administración que las generó; si bien en estas acciones se identificaban áreas estratégicas, no se contaba con el soporte de una base de información estructurada, sistemática y continua que diera sustento a las mismas. Detalles de estas apuestas se encuentran reseñados en distintos documentos tales como: UN (1998, 1999a), Rodríguez (1999), Brijalbo y Campos (2001), Duque, Brijaldo y Molina (2001), Universidad Nacional de Colombia (2007). Por lo anterior, tanto el país como la UN requieren un sistema integrado de áreas del conocimiento que permita, de manera sistemática, reflexionar sobre el estado actual de la dinámica de la investigación y la innovación, las capacidades consolidadas y aquellas por crear o consolidar que posibiliten pensar y proyectar el futuro a largo plazo de la CTI en sus relaciones con la sociedad y el desarrollo del país.

Conscientes del reto y de la urgencia por generar un sólido sistema institucional de proyección nacional con visión internacional, la Universidad Nacional de Colombia, a través de la VRI asume, en el año 2009, el desafío planteado y logra incluir en el Plan de Desarrollo Institucional 2010-2012 el Proyecto Agendas de Conocimiento, como una primera fase para crear un modelo institucional del sistema de investigación y su articulación con la extensión y con la formación. Esta iniciativa, si no pionera en la finalidad de la misma, sí en el desarrollo metodológico que implicó la planeación estructurada inicial, la construcción de insumos propios y el desarrollo del proyecto de agendas que se proyectó más allá de una administración. Esto es, se diseñó un proceso de construcción colectiva con visión compartida de futuro cuyo protagonista principal fuera la comunidad académica, de tal forma que permitiera convertir el proyecto en una tarea institucional que trasciende administraciones o directivas que son generalmente temporales o de periodos fijos muy cortos.

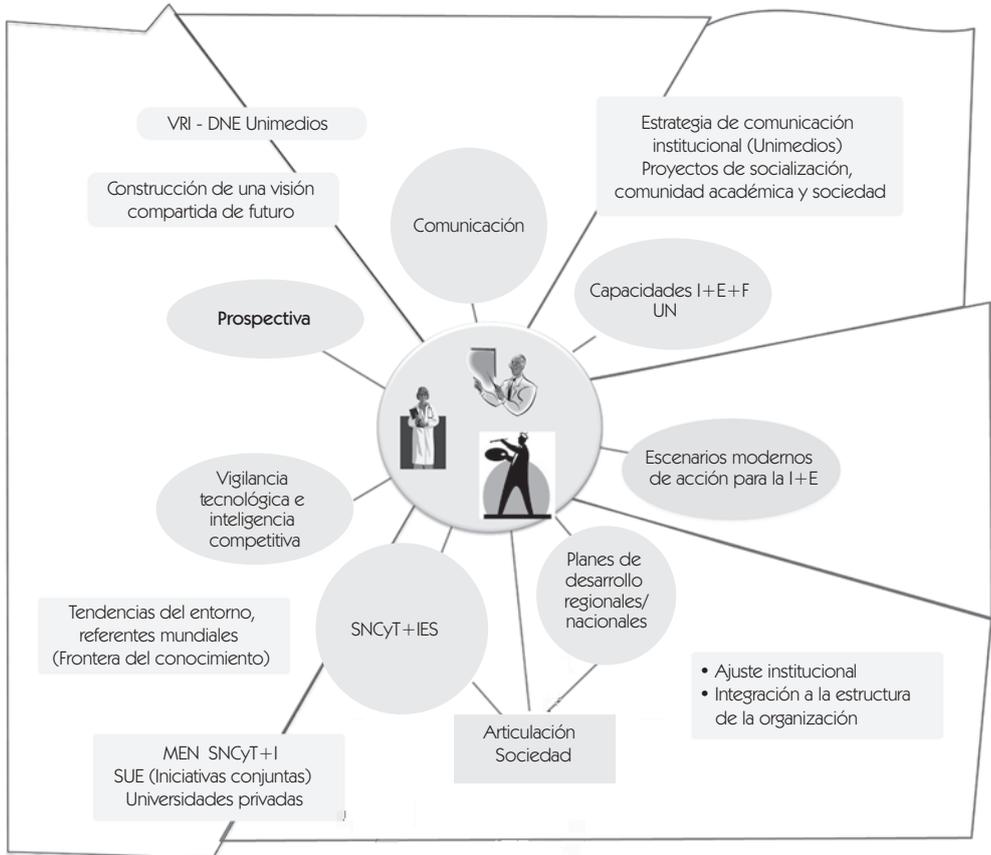
En tal sentido, lo colectivo contempla, entre otros aspectos, los siguientes: **i)** reconocer la esencia del mundo académico cuya fuente principal de riqueza es la diversidad, heterogeneidad, pluralismo en pensamiento, visiones, metas y formas de concebir la generación de conocimiento, su aplicación y su articulación con la formación y la extensión; **ii)** promover procesos de apropiación directa de la comunidad académica como pilar principal para generar un sistema con mayor probabilidad de sostenibilidad y fortalecimiento permanente hacia el futuro; **iii)** provocar los debates académicos

necesarios para crear aproximaciones compartidas del futuro; **iv**) propiciar reflexiones sobre la relación en doble sentido universidad-sociedad en toda su magnitud, pero con el mayor número de elementos e información posible que permita pensar desde y hacia la sociedad el potencial de interacción y beneficio mutuo, y **v**) asegurar etapas de construcción abiertas, donde se pudiera prever una amplia participación de toda la comunidad académica así como de la sociedad externa a la institución.

Todo lo anterior, es claro, permitió pronosticar desde un comienzo que el principio de lo colectivo representaría la mayor complejidad del proceso, pero también reflejaría la seguridad y confianza de contar con el mejor insumo de la Universidad, que es el talento humano y su capacidad de pensar, disentir y admitir nuevos argumentos y visiones. El proceso cuenta con registros de participación directa y permanente, durante los últimos dos años, de más de 130 profesores (expertos, facilitadores, escenaristas, articuladores sociedad, etc.) y de participación indirecta de cerca de 1000 profesores (a través de asistencia a encuentros, a jornadas de divulgación y discusión, consultas, cruce de correspondencia, etc.), además de cerca de 40 estudiantes tanto de pregrado como de posgrado que participaron como vigías soporte de los expertos y de los facilitadores. Otro ángulo de la complejidad puede dimensionarse contando las ocho sedes, las 21 facultades, los 30 institutos, los 17 centros, un observatorio, así como los 94 programas disciplinares, las 141 maestrías, los 51 doctorados y los hoy más de 900 grupos de investigación. Por tanto, la apuesta fue entender la complejidad y su naturaleza para construir un sistema desde la base misma de la academia que garantice su calidad, sostenibilidad y evolución en el tiempo, superando así el formalismo de un simple acuerdo normativo que podrá llegar a producirse, pero como consecuencia de un proceso cimentado, madurado y asumido por la comunidad académica.

Los insumos utilizados, particularmente el modelo de medida de capacidades institucional, el proceso de conceptualización, diseño, definición temática, herramientas y desarrollo metodológico del proyecto, han sido divulgados y documentados en diferentes fases del proceso². Las figuras 1 y 2 ilustran el esquema general de insumos necesarios para la construcción de las agendas y el sistema básico de las grandes áreas definidas, respectivamente. Se resalta la permanente articulación entre las agendas como principio de un futuro sistema que responda a la complejidad de la Universidad y de manera más eficiente. Aunque es obvio, no sobra recalcar que el sistema, de manera integral, está soportado en la generación de conocimiento originado de la investigación fundamental en todas las áreas, como una apuesta desde lo misional de la Universidad, lo que garantiza la coexistencia de lo pertinente e impertinente (Wasserman, 2010).

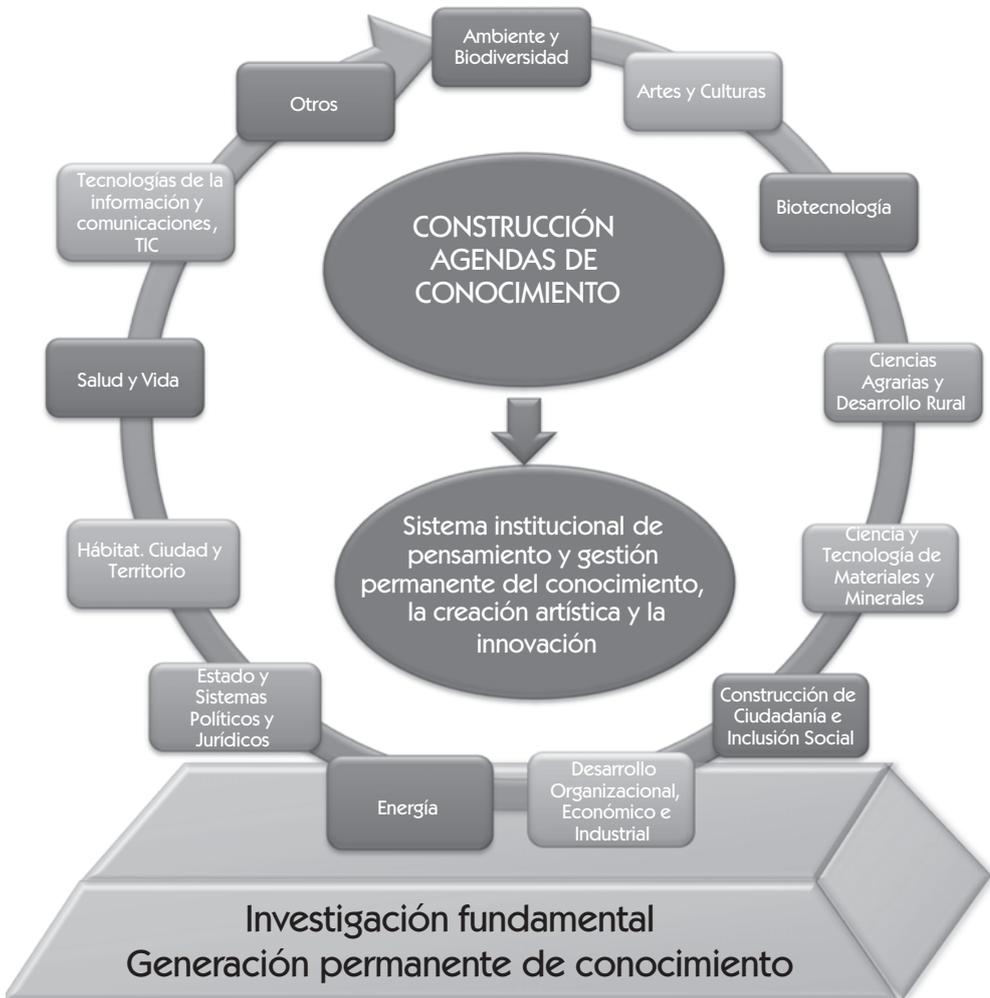
Figura 1. Componentes de las agendas de conocimiento PGD 2010-2012



Fuente: Adaptado de VRI (2011).

En dicho contexto, lo avanzado en el Proyecto de Agendas de Conocimiento dentro del actual PDG 2010-2012 permite dejar la base estructural para la siguiente fase de construcción de un Sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación, que se detalla en el libro *Agendas de conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación* (VRI et al., 2012). Este sistema proporcionaría a la Universidad un instrumento de vigilancia científico-tecnológica de innovación y de prospectiva como soporte para la reflexión de toda su actual y futura política académica, para la toma de decisiones y para apoyar en forma estructural los ejercicios de planeación estratégica en función del tiempo, con pensamiento de largo plazo, orientados no solamente al propio desarrollo de la institución, sino cuyas apuestas van incondicionalmente comprometidas en toda su dimensión con el futuro del país, desde una visión global e integral del conocimiento en el ámbito mundial.

Figura 2. Esquema general del sistema integrado de las agendas de conocimiento



Fuente: Adaptado de VRI (2011).

Así, se espera que el modelo de sistema propuesto no solo sea de utilidad para la UN sino que, como se hizo durante el proceso de construcción de las agendas de conocimiento, se continúe compartiendo con el país como parte de las propuestas que la Institución deja a consideración de la sociedad y, particularmente, del SNCTI para su posible fortalecimiento. Cada una de las agendas, que se presenta en documentos separados, podrá ser un importante insumo para generar una agenda nacional que involucre todos los actores del SNCTI y de la sociedad en general.

Finalmente es de resaltar, con gran orgullo institucional, la encomiable labor llevada a cabo en forma articulada entre los autores (profesores expertos de la Agenda CTMM) y el equipo metodológico (facilitadores y vigías), quienes acompañaron y generaron insumos para todo el proceso, así como con los equipos de trabajo articuladores con la sociedad, y con los escenaristas, quienes también generaron insumos generales y específicos. Igualmente es de destacar la activa participación de los profesores interesados en esta agenda, quienes con sus críticas constructivas, sus propuestas e inquietudes permitieron enriquecer el contenido de la misma.

Es de resaltar también el arduo y excelente trabajo llevado a cabo por el grupo de editores y el grupo logístico del proyecto. Todo el esfuerzo conjunto, permanente trabajo, persistencia y compromiso institucional hacen que sean ellos parte esencial del resultado que se entrega hoy. Seguramente serán también el motor que permita, en el futuro inmediato, la evolución y consolidación de cada una de las agendas y del sistema de pensamiento en general.

Rafael Alberto Molina Gallego
Bogotá, 29 de marzo de 2012

INTRODUCCIÓN

Bajo los principios generales del Proyecto Agendas de Conocimiento, brevemente descrito en la presentación, el lector encontrará en este documento el marco general de la Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales, donde se describe la ruta que la UN se propone para desarrollar la investigación y su articulación con la extensión y la formación en los ámbitos propios de dicha agenda, bajo una visión universal articulada con la pertinencia local y nacional conectada con todo el SNCTI y la sociedad en general.

El presente documento condensa el trabajo realizado en la Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales en el marco del Proyecto Agendas de Conocimiento del Programa de Prospectiva Universidad Nacional de Colombia, UN, el cual busca generar una plataforma que propenda por el futuro de la investigación y la extensión en la UN durante los próximos años, como parte de la estrategia del Plan Global de Desarrollo 2010-2012. El documento ha sido elaborado con el objeto de ser discutido con la comunidad académica y demás entes interesados.

Desde finales de los años 1990, la UN ha buscado establecer prioridades en las actividades de investigación. Para tal fin se propusieron y desarrollaron los Programas Universitarios de Investigación, PUI, en el año 1991, los Campos de Acción Institucional, CAI, y los Programas Estratégicos, PRE, durante la ejecución del Plan Global de Desarrollo 1999-2003, al igual que el trabajo en Redes entre los años 2007 y 2009. Hoy en día se lleva a cabo el Proyecto Agendas de Conocimiento, que busca aportar una mirada prospectiva de la investigación en el ámbito nacional e internacional, y así permitir que la UN aborde el presente con un sentido de futuro.

La Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales (en adelante, Agenda CTMM) es una de las trece agendas definidas para la realización de los ejercicios prospectivos, y se encarga de estudiar los temas de investigación asociados con la minería y los materiales. La primera extrae minerales sólidos de la tierra, que son procesados y convertidos en productos de alto valor, como vehículos, trenes, aeronaves o edificaciones, los cuales requieren cemento, piedra, vidrio y otros materiales (NMA, 1998). El desarrollo y la creación de materiales, por su parte, han permitido el impulso de industrias como la construcción, el transporte, la electrónica y, en general, de las industrias de manufactura, que han llevado a la evolución y al progreso de la humanidad (Lu *et al.*, 2010).

La Agenda CTMM se construyó de manera colaborativa por un grupo de expertos en las áreas de interés de la misma, quienes contaron con el apoyo de un grupo de vigías y facilitadores. La selección y conformación del grupo de expertos fueron realizadas por la Vicerrectoría de Investigación, en áreas de materiales, geología y minas de las diferentes sedes de la Universidad, teniendo en cuenta su reconocimiento académico y su trayectoria profesional, entre otros criterios. Durante el proceso de construcción de la Agenda CTMM se combinó el trabajo presencial con el trabajo virtual. Se llevaron a cabo tres reuniones presenciales y tres reuniones virtuales. Adicionalmente, se compartieron documentos por medio de Google-docs para facilitar el intercambio de ideas entre los expertos. Estas reflexiones fueron apoyadas por el trabajo de los vigías, quienes identificaron las capacidades institucionales de la UN e hicieron búsquedas de información académica sobre tendencias en investigación, ciencia y tecnología de materiales y minerales, de acuerdo con las directrices metodológicas establecidas por el Proyecto Agendas de Conocimiento.

El presente documento se ha estructurado en tres secciones; la primera es un diagnóstico general e institucional, la segunda define la visión de futuro y los lineamientos estratégicos, la tercera presenta los resultados de la encuesta hecha a investigadores y directores de grupos de investigación relacionados con la Agenda CTMM, para consolidar la visión de futuro. El diagnóstico general e institucional hace un recuento de las tendencias en investigación en el entorno nacional e internacional, identifica esfuerzos gubernamentales e institucionales para fortalecer las actividades investigativas en los temas de materiales y minerales; además, muestra las capacidades de la Universidad Nacional de Colombia identificando investigadores (capital humano), proyectos y productos de estas áreas en los últimos años (capital estructural), que fueron posibles de reconocer teniendo en cuenta las bases de datos suministradas por la Vicerrectoría de Investigación, generadas a partir de la información de los sistemas SARA, Quipu y Hermes.

La visión de futuro plantea los objetivos, las metas y el árbol de conocimiento definidos por los expertos participantes en la Agenda CTMM. Respecto al árbol de conocimiento, se estructura según tres niveles jerárquicos: áreas, temas y subtemas. Las áreas, que definen de manera global y estratégica los frentes de actuación a nivel investigativo y académico que se dan en la UN en ciencia y tecnología de materiales y minerales, han sido propuestas a partir de una búsqueda preliminar de tendencias en investigación y de las capacidades identificadas para esta agenda. Los temas y subtemas son subniveles de las áreas que han sido planteados por los expertos atendiendo a su importancia en las actividades de la Universidad dentro de cada una de las áreas.

Las tres áreas propuestas fueron: Fundamentos y ciencia de los materiales, Tecnología e innovación de materiales y Recursos naturales no renovables y medio ambiente; estas a su vez se desagregan cada una en tres temas, para un total de nueve temas, tal y como se podrá apreciar en la sección 2.6, en la que se amplía la construcción del árbol de conocimiento.

El análisis prospectivo para consolidar la visión de futuro presenta los resultados de la encuesta realizada para validar los objetivos, metas y áreas definidos; también se incluyen los proyectos propuestos por los investigadores en el marco de la Agenda CTMM.

Teniendo como insumo el presente documento, los resultados de la fase prospectiva y la definición de programas y proyectos por parte del grupo de expertos y de la comunidad académica, la Agenda CTMM pretende ayudar a establecer alternativas que guíen el desarrollo de las actividades investigativas de la Universidad en áreas de estudio de la ciencia y la tecnología de materiales y minerales.

1. DIAGNÓSTICO GENERAL E INSTITUCIONAL

Con el objeto de construir la Agenda de Conocimiento en Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerale, Agenda CTMM, se hace necesario indagar sobre tres aspectos básicos: las tendencias³ en investigación a nivel nacional e internacional, las necesidades expresadas por el gobierno nacional y local, y las capacidades que tiene la Universidad Nacional de Colombia para desarrollar actividades en investigación y ciencia en áreas de estudio de los materiales y los minerales. Esta sección pretende dar respuesta a estos aspectos que son pieza clave en el proceso de direccionamiento y construcción de la agenda.

1.1 Panorama internacional de investigación en ciencia y tecnología de materiales y minerales

Este apartado contiene los resultados del proceso de identificación de macrotendencias en la Agenda CTMM, que se detalla en el anexo 2, en el que se presentan tendencias, retos en investigación y ciencia, y requerimientos en el futuro relacionados con la agenda. Estos resultados se obtuvieron a partir de la revisión de documentos prospectivos a nivel internacional a la luz del árbol de conocimiento propuesto por los expertos de la Agenda CTMM (ver figura 13). Se identificaron intereses comunes que aparecen de manera transversal, existiendo relaciones de realimentación y dependencia en cuanto a la posibilidad de lograr avances científicos. En algunos casos, los avances en temas de la Agenda CTMM contribuyen a alcanzar metas en otros campos de la ciencia. Se mencionarán algunas de las necesidades en investigación que han sido identificadas.

En Europa, las innovaciones en materiales son muy importantes para industrias como la automotriz, la aeroespacial, la química, la electrónica y la textil; se distinguen tres áreas socioeconómicas en las que los nuevos materiales podrán tener mayores efectos: energía, seguridad y calidad de vida. En la primera, cabe mencionar la necesidad de lograr los niveles cero de dióxido de carbono en la generación de energía a través de tecnologías solares y de técnicas de fusión. La conservación de la energía se beneficiará

3 En el contexto del presente documento, una tendencia se entenderá como “una extrapolación que lleva de una situación o estado A, a una situación o estado B; se puede afirmar que es una anticipación de comportamientos o situaciones que se presentarán en un futuro, marcadas o direccionadas por los comportamientos actuales” (Correa, 2007). Sin embargo, una visión de futuro para una agenda de investigación va más allá de una extrapolación del presente; debe ser realista, factible e introducir elementos de cambio frente a las estructuras actuales (Medina y Ortigón, 2006).

de los desarrollos en nanotecnología, con sensores y dispositivos para minimizar las pérdidas de energía. En el área de seguridad, existen mayores requerimientos en infraestructura, edificaciones y comunicaciones, a los cuales se puede responder con tecnologías como sensores y materiales sensitivos, para lo cual se necesitan progresos en materiales avanzados para usos electrónicos. Por último, en el área de calidad de vida, el enfoque es sobre los biomateriales, el empaquetamiento y los textiles técnicos; los biomiméticos por su parte, son una clase de materiales que tienen potencial para innovaciones revolucionarias en las ciencias de la salud (Lee-Müller *et al.*, 2007).

De acuerdo con la Sociedad de Investigación de Materiales (Materials Research Society) de Estados Unidos, el desarrollo energético y de materiales ha sido importante para abrir nuevos horizontes para la humanidad. En el campo de la energía hay numerosos retos y necesidades en el desarrollo de nuevos materiales que incluyen: materiales para baterías y celdas de combustible para almacenamiento masivo de energía eléctrica, celdas solares de alta eficiencia y bajos costos, y cables superconductores aplicados en transporte de energía; otros temas de estudio y los requerimientos en cuanto al desarrollo de materiales se presentan en la tabla 1 (MRS, 2010).

Tabla 1. Necesidades en investigación y tecnología planteadas por la Sociedad de Investigación de Materiales

Tema	Requerimiento
Energía solar	En el futuro se espera la convergencia de sistemas fotovoltaicos y de la nanotecnología para capturar y convertir energía solar más eficientemente y celdas solares plásticas o paneles para superficies curvas.
Energía eólica	Las investigaciones en materiales se deben enfocar en el mejoramiento de la rigidez de las turbinas para evitar deformaciones; también se requieren materiales con larga vida útil resistentes a condiciones duras.
Energía geotérmica	Materiales para perforaciones de las rocas y materiales que resistan condiciones extremas de corrosión usados para transmitir el calor.
Energía nuclear	Materiales para sistemas de reactores avanzados y contenedores de desperdicios nucleares.
Energía fósil	Materiales para la conversión de energía del combustible a electricidad.
Biocombustibles	Materiales resistentes a la corrosión, debido a la naturaleza corrosiva de los combustibles, y que faciliten los procesos de combustión.
Hidrógeno	Nuevas tecnologías para su almacenamiento y materiales para la producción de celdas de combustible.
Eficiencia en el transporte de energía	Aceros avanzados para el desarrollo de vehículos resistentes a choques, desarrollo de metales livianos y aplicaciones de nuevos aluminios, magnesio y titanio y compuestos de fibra de carbón.

Continuación Tabla 1. Necesidades en investigación y tecnología planteadas por la Sociedad de Investigación de Materiales

Tema	Requerimiento
Energía en la construcción	Nuevos materiales para las construcciones sin consumo de energía ni emisiones de carbono; hay retos en cuanto a la capacidad de almacenamiento de paredes, pisos y techos, metamateriales ópticos y cristales que usen nanomateriales inorgánicos para aumentar la ganancia de energía solar y una mayor durabilidad.
Almacenamiento de energía	Desarrollo de supercapacitores, baterías y almacenadores de energía térmica.
Sostenibilidad	Uso eficiente de los materiales intensivos y estratégicos para la mitigación de la corrosión, la contaminación y otros impactos negativos de la tecnología y el crecimiento económico.

Fuente: Sociedad de Investigación de Materiales (MRS, 2010).

La Plataforma Tecnológica Europea en Recursos Minerales Sostenibles ha definido las siguientes áreas de importancia estratégica: 1) materia prima fundamental; 2) exploración innovadora; 3) tecnologías para la extracción y el procesamiento de recursos; 4) uso de materia prima secundaria, y 5) promoción del reciclaje. También se puntualiza en las siguientes áreas de investigación: reducción del consumo de energía e impacto ambiental cero, reutilización y reciclaje en la industria minera, diseño de nuevos productos minerales, e industria sostenible y desarrollo tecnológico (ETP SMR, 2009).

Se distinguen como temas de investigación del futuro las tecnologías para consumos bajos de energía en la manufactura, producción y procesamiento de metales, los materiales avanzados para ingeniería y medicina biomédica, los materiales funcionales e inteligentes (Dobrzaski *et al.*, 2010). En general, hay áreas de aplicación comunes a la mayoría de áreas y temas que comprenden la Agenda CTMM; entre estos cabe listar: energía, medio ambiente, medicina, transporte, electrónica e información y comunicaciones (CCAS, IEEE y CSC, 2009; Finley, 2007; IEA y WBCSD, 2009; NIMS, 2007; Rödel *et al.*, 2009). Muchos de los desarrollos investigativos están afectando la salud humana y las condiciones medioambientales; es el caso de la nanotecnología y los mecanismos de transporte de nanomateriales.

La nanotecnología, las tecnologías de la información y comunicación, TIC, y la nano-información también son temas de interés en la Agenda CTMM. Se busca avanzar en la producción de equipos de comunicación a partir de nuevos materiales, mejorar la eficiencia de los equipos y reducir los efectos de los sistemas de comunicación sobre el medio ambiente y la salud humana. La incorporación de las TIC en los procesos de manufactura de materiales, la explotación de recursos minero-energéticos, el

mejoramiento en los canales de comercialización y el transporte de materias primas y productos pueden contribuir a mejorar la eficiencia en dichos procesos (NIMS, 2007; Rödel *et al.*, 2009).

Los daños ocasionados por la explotación de recursos minero-energéticos han puesto en consideración el concepto de minería sostenible, que busca la disminución de los impactos producidos por este tipo de actividad, así como el mejoramiento de la eficiencia de los procesos involucrados en dicha explotación (Franks *et al.*, 2011; World Economic Forum, 2010). Se espera que la incorporación de tecnologías verdes, la disminución del uso de materiales fósiles y la inclusión de biotecnología generen nuevas formas de producción eficiente y amigable con el medio ambiente.

La automatización y las tecnologías de la computación pueden contribuir de forma significativa a la evolución del sector minero con el procesamiento de mayores volúmenes de datos en menor tiempo para obtener resultados de modelos de simulación complejos o de modelado de superficies en 3D, con el objetivo de mejorar la eficiencia en los procesos de exploración y explotación minera, de fundición de metales o de generación de energía. La automatización mejora los procesos de integración de operaciones como el transporte, la comercialización y la producción. La modelación de sistemas y procesos complejos y los modelos multidisciplinarios con altos niveles de integración permiten optimizar los procesos y la fabricación de materiales diseñados para un funcionamiento más eficiente mediante el ahorro energético en los procesos y la reducción en los costos de procesamiento (Department of Minerals and Energy of South Africa, 2005; Sogaard Jorgensen *et al.*, 2006).

1.2 Panorama nacional de investigación en ciencia y tecnología de materiales y minerales

El sector minero ocupa un renglón importante en la economía colombiana, con una participación del 1,5% en el Producto Interno Bruto, PIB, entre los años 2004 y 2009. Los minerales se encuentran a lo largo de toda la geografía colombiana, siendo el más importante el carbón, seguido por el ferroníquel, el oro, las esmeraldas, la sal y los materiales para la construcción. Los minerales destinados al mercado interno son empleados principalmente en los sectores de construcción, metalurgia y producción de fertilizantes, e incorporan un bajo componente tecnológico, por lo que ha surgido la necesidad de desarrollar nuevas aplicaciones para estos recursos (Lizarazo, 2011). Se han visto varias iniciativas que buscan generar mayores avances científicos y su aplicación en el ámbito productivo, con líneas de investigación en materiales y procesos no tradicionales, entre los que se destacan: recubrimientos especiales; polímeros, cerámicas y cristales para el desarrollo de sensores y otros dispositivos electrónicos; materiales compuestos a partir de desechos y subproductos industriales,

películas magnéticas, biomateriales, fibras vegetales, nanotubos de carbono y otros. Entre esas iniciativas se pueden destacar: nuevos programas de pregrado y posgrado, nuevas Escuelas o Departamentos de Ciencia e Ingeniería de Materiales y centros de investigación, como el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, CENM, que reúne grupos de investigación de varias universidades y cuenta con el apoyo financiero de Colciencias.

Los ejercicios de vigilancia tecnológica llevados a cabo por el CENM señalan que la creciente demanda de la industria metalmeccánica y del plástico, así como la industria de piezas y repuestos para el sector automotriz, aeroespacial y de maquinaria, “ha llevado al desarrollo y optimización de procesos industriales cada vez más eficientes, que utilizan materiales con mejores propiedades mecánicas y tribológicas, combinando bajos costos de producción, mayor productividad, mejor desempeño de herramientas, partes de máquinas y equipos” (CENM, 2007).

El desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones tecnológicas es un objetivo de la investigación en ciencia y tecnología de materiales en Colombia; esto demanda avances en los campos teórico y experimental, en la fabricación de prototipos y en la gestión necesaria para que dichos avances se conviertan efectivamente en innovaciones, ya sea de productos o procesos. Esta es una forma activa de cooperación entre los sectores público y privado. A continuación se describe brevemente el contexto investigativo en el que se circunscriben algunos temas propios de la Agenda CTMM (Mijangos y Moya, 2007):

- **Cerámica:** la incorporación de nuevos procesos de fabricación de cerámica tradicional, la optimización de la relación microestructura-propiedades, y la aplicación de nuevos conceptos de control de calidad de sus productos han mejorado su competitividad. El desarrollo de nuevos materiales cerámicos denominados cerámicos avanzados (diseñados), con aplicaciones en la industria eléctrica y electrónica, en la salud (biomateriales), en la industria aeroespacial (barreras térmicas), en comunicaciones, entre otras, ha abierto un espacio nuevo al área de ciencia y tecnología de materiales.
- **Metales:** en los últimos años se han efectuado investigaciones sobre nuevas aleaciones; se destacan desarrollos como aleaciones con memoria de forma, materiales biocompatibles, aceros resistentes a altas temperaturas, entre otros. El reto medioambiental está impulsando el desarrollo de nuevos materiales metálicos, con procesos de fabricación más amigables con el ambiente y la reducción de las emisiones de CO₂. Los aceros inoxidable, las aleaciones de cobre, de zinc, los nuevos materiales conseguidos en condiciones de no equilibrio (solidificación rápida), la metalurgia de polvos, las nuevas técnicas de modificación superficial y otras aleaciones y procesos quedan en el campo de las nuevas investigaciones.

- Polímeros: aunque existen miles de aplicaciones diferentes para la gran variedad de polímeros conocidos, las membranas y las fibras son de gran interés tecnológico. Las celdas de combustible que necesitan resistir condiciones fuertemente ácidas y altas temperaturas durante años de uso deben ser temas prioritarios de investigación; de otra parte, los materiales poliméricos con altas relaciones resistencia mecánica-densidad son de gran impacto en el transporte, el deporte y las estructuras de defensa, institucional y personal.
- Nanotecnología: la nanotecnología, entendida como la investigación y el desarrollo de materiales y procesos a escalas entre 1 nm y 100 nm, y la capacidad de controlar y manipular a escala atómica, está cada vez más relacionada con instrumentos, artefactos y procedimientos de aplicación en la vida real. Entre las aplicaciones médicas se pueden mencionar: a) sondas miniaturizadas que pueden ser implantadas para realizar el diagnóstico precoz de enfermedades; b) recubrimientos basados en la nanotecnología capaces de incrementar la bioactividad y biocompatibilidad de implantes; c) andamiajes (*scaffolds*) auto-organizados, que pueden ser usados para la ingeniería de tejidos; d) nanomateriales magnéticos para el transporte y la aplicación local de medicamentos, y e) nuevos materiales superconductores para el diseño de grandes equipos de diagnóstico médico.
- En ciencia de materiales se dará prioridad a: a) la inclusión de nanopartículas para reforzar materiales; b) la modificación de superficies; c) el empalme selectivo de moléculas orgánicas para la fabricación de biosensores y dispositivos electrónicos moleculares, y d) la mejora de las propiedades de determinados materiales diseñados para trabajar en condiciones extremas. En cuanto a la nanofabricación, las principales aplicaciones se centran en el uso de la micro y nano fotolitografía para la preparación de chips en silicio y de microsistemas, fluidicos, mecánicos, electrónicos, etc.
- Biomateriales: constituyen un campo emergente de considerable desarrollo y enorme interés social y económico, de tal forma que es uno de los sectores estratégicos en los programas de investigación y desarrollo, I+D. Este campo tecnológico interdisciplinar se ha desarrollado de forma paralela al de materiales avanzados, los cuales se diseñaron para aplicaciones que tenían poca relación con el organismo humano, pero han supuesto la base del desarrollo de técnicas, metodologías, instrumentación y dispositivos de muy variada naturaleza, diseño y morfología.

Entre los campos por desarrollar se tienen: la ingeniería de tejidos, la sustitución tisular, los trasplantes, los injertos y los implantes. En la actualidad el uso de biomateriales está generalizado, existiendo una clara complementariedad

entre las opciones que ofrecen los metales, las cerámicas, los polímeros y los materiales compuestos. Los desarrollos más interesantes están ligados a una clara participación multidisciplinar en donde deben estar presentes desde los especialistas en medicina y cirugía hasta los diseñadores en bioingeniería, pasando por físicos, químicos e ingenieros de materiales, así como farmacéuticos, biólogos y médicos especialistas en el análisis del comportamiento biológico tanto a nivel celular como en el ámbito tisular.

- **Energía y ambiente:** la contaminación atmosférica producida por la combustión de los combustibles líquidos derivados del petróleo se reduce notablemente mediante eliminación de los compuestos de azufre, nitrógeno y metales mediante el uso de catalizadores; la ciencia y tecnología de materiales es un soporte importante para lograr este objetivo. La calidad de los combustibles se mejora sustancialmente mediante reacciones de hidrogenación, isomerización y transformación sobre catalizadores que contienen partículas de metales nobles altamente dispersas en una matriz porosa. La eficiencia intrínseca elevada de las celdas de combustible, como en un reactor electroquímico, producen esencialmente energía eléctrica cuando convierten el hidrógeno y el oxígeno en vapor de agua a temperatura baja.
- **Técnicas de caracterización:** la capacidad para crear nuevos materiales está unida a los avances en la comprensión de los fenómenos físicos y químicos fundamentales de los mismos. Es esencial contar con múltiples técnicas de caracterización complementarias, cuanto más versátiles, mejor. En la actualidad existe una marcada tendencia de un conjunto de técnicas que resultan idóneas en varios momentos del proceso de desarrollo de un material susceptibles de tener aplicaciones tecnológicas.

En Colombia se cuenta con el Programa Nacional de Investigación en Energía y Minería, PIEM, cuya función es “promover y apoyar los programas, planes y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en los sectores energético y minero nacionales, para aumentar la productividad en la generación de recursos energéticos y mineros, y maximizar su valor”(Colciencias, 2011a).

El Plan Estratégico del Programa 2010-2019 ha definido las siguientes líneas de investigación: 1) Desarrollo de nuevos productos y materiales con base en recursos minero-energéticos: minería y petroquímica para el desarrollo agrícola con conocimiento y valor agregado; desarrollo de nuevos materiales a partir del beneficio de minerales con énfasis en sistemas de separación y procesos de refinación. 2) Mejoras en los procesos de producción y utilización de la energía: Programa Nacional de Investigación e Innovación en combustión de combustibles fósiles y de origen renovable, optimización de los usos finales de la energía térmica; Programa Nacional de Investigación e Innovación en optimización del uso de la energía eléctrica. 3) Carboquímica y procesos de valoración

del carbón. 4) Bienes, insumos e ingeniería para la producción y utilización de la energía eléctrica. 5) Agro-energía: biocombustibles, biomasa y biogás. 6) Tecnologías para la exploración y explotación de recursos minero-energéticos. 7) Política, mercados y regulación minero-energética con criterios de sostenibilidad (Colciencias, 2011a).

1.3 Apuestas gubernamentales en la última década

En el contexto nacional, se han consultado los planes de desarrollo para los períodos 2006-2010 y 2010-2014, y el documento Visión Colombia 2019. Estos permiten identificar las estrategias que se tienen a nivel nacional para el desarrollo industrial y la competitividad. Algunos apuntes de interés son los siguientes (Lizarazo, 2011):

En el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, los temas de la Agenda CTMM son abordados en el tercer objetivo del plan, el cual consiste en lograr un crecimiento económico alto y sostenido como condición para un desarrollo equitativo. Como parte de la estrategia de la “Agenda interna para la productividad y la competitividad”, el sector minero es planteado en el tema de capital físico (infraestructura) junto a los sectores de transporte, tecnologías de la información y comunicaciones, TIC, y energía, mientras que el tema de nuevos materiales aparece en la parte de capital humano como una de las estrategias relacionadas con el sector de educación superior. Se plantea como principal objetivo del sector minero “consolidar una política que permita aumentar la productividad de las explotaciones mineras tradicionales legales e incentivar una mayor participación de inversionistas estratégicos en la exploración, explotación y desarrollo sostenible de los recursos mineros” (DNP, 2007). De otro lado, el componente de investigación y formación avanzada establece el reconocimiento y apoyo a centros de investigación en áreas estratégicas del conocimiento para la competitividad, siendo una de ellas la de materiales avanzados y nanotecnología.

El documento Visión Colombia 2019 considera los temas relacionados con la Agenda CTMM en su primer objetivo, “una economía que garantice un mayor nivel de bienestar” (DNP, 2005). Para ello establece unas metas alrededor de dos estrategias, una de ellas relacionada con el fortalecimiento de la infraestructura, junto a los temas de transporte, telecomunicaciones y energía, y la otra como parte de la estrategia sobre desarrollo científico tecnológico. Los temas a los cuales se refieren estas metas son el desempeño del sector carbonífero, la investigación sobre el potencial minero y las características geológicas del país, así como el conocimiento en áreas estratégicas para la competitividad de la economía. En relación con el tema de nuevos materiales, su meta específica plantea el reconocimiento y apoyo a veinte centros de excelencia en investigación, entre ellos los que aborden la creación de materiales avanzados con base en nanotecnología, junto a otros temas como biodiversidad y genética, biotecnología para el sector agroindustrial y enfermedades infecciosas.

La revisión del reciente Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 permite identificar el desarrollo minero y la expansión energética como una de las “locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo”; además, señala la necesidad de concentrar esfuerzos en las áreas estratégicas que el país priorizó a través de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, siendo estas: biotecnología, energía y recursos naturales, tecnologías de información y comunicaciones, materiales y electrónica, salud, diseño y creatividad y logística (DNP, 2011a). El Plan Nacional para el Desarrollo Minero 2006-2019, por su parte, formula algunos objetivos y metas que deben alcanzarse, los compromisos que tiene el Estado colombiano en la consecución de dichas metas, y también traza una estrategia para su realización (UPME, 2006). En la tabla 2 se resumen las principales apuestas gubernamentales relacionadas con la Agenda CTMM.

Tabla 2. Estrategias gubernamentales relacionadas con la Agenda CTMM (Plan Nacional para el Desarrollo Minero 2006-2019 y PND 2010-2014)

Plan Nacional para el Desarrollo Minero Visión al año 2019	Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014
<p>Dentro de los objetivos y metas del plan se contemplan los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar las ventajas comparativas del país representadas en el potencial geológico-minero del territorio. • Atraer un mayor número de inversionistas al mercado del recurso minero. • Lograr para el Estado una mayor captura de valor de los resultados exitosos de la actividad minera. <p>Las metas propuestas hasta el año 2019 son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duplicar el volumen actual de producción de carbón. • Cuadruplicar la producción de metales preciosos. • Convertir a Colombia en uno de los tres principales destinos latinoamericanos de la inversión privada, interna y externa, destinada a exploración minera. • Incrementar la extensión del área contratada para exploración geológico-minera. • Optimizar los procesos de contratación minera y de atención al cliente. 	<p>Se proponen cinco “locomotoras” que jaloneen el desarrollo del país: infraestructura, vivienda, agro, minería e innovación.</p> <p>El sector minero-energético representa la oportunidad de aprovechar de manera responsable la riqueza de recursos naturales para generar crecimiento sostenible y mayor equidad social, regional e inter-generacional. Se resalta la importancia del sector por las elevadas proyecciones de producción de petróleo y el alza de los precios de la canasta minero-energética y por la responsabilidad en gestión ambiental que acompaña al sector.</p> <p>La innovación hace parte de la visión de futuro con el fin de llegar a competir con los países más avanzados; para esto se propone la generación de valor agregado a través de la generación de nuevas tecnologías y conocimiento. Según el DNP, Colombia evidencia un rezago frente a países similares en el desarrollo de ciencia, tecnología e innovación. En este sentido se planea promover la cultura de la innovación en todas las esferas de la sociedad y en todas las etapas de formación. Algunas estrategias por implementar son:</p>

Continuación Tabla 2. Estrategias gubernamentales relacionadas con la Agenda CTMM (Plan Nacional para el Desarrollo Minero 2006-2019 y PND 2010-2014)

Plan Nacional para el Desarrollo Minero Visión al año 2019	Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014
<ul style="list-style-type: none"> • Obtener un mayor conocimiento del subsuelo del país. • Desarrollar agendas para productividad y competitividad en todos los distritos mineros. • Incrementar la producción en los desarrollos mineros comunitarios. • Alcanzar un crecimiento del PIB minero por encima del promedio latinoamericano. <p>Algunos resultados esperados son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor inversión (interna y externa) en proyectos mineros. • Mayores ingresos por concepto de impuestos y regalías para el Estado y las entidades territoriales. • Mayor contribución de la minería al PIB. • Pequeños mineros eficientes y competitivos. • Más información para motivar mayor prospección. • Articulación institucional. • Un cuadro integrado de indicadores cuantitativos que midan los resultados de la estrategia institucional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de los esquemas de protección a la propiedad intelectual. • Mayor y mejor uso de las TIC. • Establecimiento de un sistema de educación superior de calidad y pertinencia. • Promoción de esquemas de asociatividad empresarial en torno al desarrollo de clústeres basados en la innovación. • Consolidación de alianzas productivas regionales y locales entre empresas, universidades y entidades del Estado. • Facilitar y fomentar el uso y la adaptación de tecnología (transferencia tecnológica). <p>El conocimiento y la innovación aparecen como elemento transversal de soporte para las locomotoras propuestas por el gobierno actual; con esto se espera resolver problemas técnicos, reducir costos, ampliar coberturas y competir en mercados globalizados con una oferta diversa y sofisticada.</p> <p>El objetivo de dicha política es identificar, producir, difundir, usar e integrar el conocimiento como apoyo a la transformación productiva y social del país.</p>

Fuente: Adaptado de DNP (2011b); Unidad de Planeación Minero Energética: Subdirección de Planeación Minera (2006).

En la tabla 3 se recogen algunos de los temas priorizados por Colciencias, relacionados con la Agenda CTMM a partir de discusiones en el ámbito nacional, teniendo en cuenta las necesidades de cada región y la cantidad de recursos provenientes de las regalías que se recibirán (Colciencias, 2011b). Estas discusiones aún están siendo llevadas a cabo, por lo que la información consignada en la tabla podría ser modificada.

Tabla 3. Temas prioritarios en las regiones, a partir de discusiones de Colciencias en el marco de la asignación de recursos de regalías

Programa	Atlántico	Bolívar	Cesar	Córdoba	La Guajira	Magdalena	S. Andrés	Sucre	Arauca	Boyacá	Casanare	Santander	Norte de Santander
Investigación, desarrollo e innovación del clúster minero-energético para la región.									X	X	X	X	X
Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico Agroindustrial, Minero-Energético y Turismo.				X									
Centro de Investigación e Innovación en Carbón, Incarbo. Primer proyecto de poligeneración.					X								
Contaminación de materiales pesados en la minería y la agricultura.				X									
Desarrollo de una herramienta para determinación y referenciación de partículas en el área minera del Cesar.			X										
Evaluación del costo efectivo de la tecnología de gasificación del carbón, integrado al sistema de generación de potencia.	X	X	X	X	X	X	X	X					
Instituto de la Corrosión del Caribe.	X	X	X	X	X	X	X	X					
Programa de Investigación e innovación en minería y energía para el Caribe colombiano.			X										
Evaluación del costo energético.			X										
Investigación e innovación en conservación, uso y aseguramiento de la disponibilidad de agua.									X	X	X	X	X
Parque Caribe de CTI – Clúster agua, biodiversidad, biotecnología, ciencias agropecuarias y TIC.	X												
Programa para la sostenibilidad de agua subterránea en la región Caribe.		X											
Programa integral de manejo del recurso hídrico para la conservación y aprovechamiento sostenible potencial acuícola y pesquero.	X												
RR Hídrico.	X	X	X	X	X	X	X	X					

Fuente: Adaptado de Colciencias (2011b).

Los programas con aplicabilidad en mayor número de departamentos son los relacionados con el carbón, la corrosión de materiales, el recurso hídrico y el desarrollo del clúster minero-energético.

1.4 Esfuerzos institucionales en la definición de agendas de investigación

Es preciso reconocer los esfuerzos previos que la Universidad Nacional de Colombia ha efectuado para cimentar la investigación como estrategia fundamental, entre ellos la experiencia de los Programas Universitarios de Investigación, PUI, los Campos de Acción Institucional, CAI, y los Programas Académicos Estratégicos, PRE (Duque *et al*, 2001).

Los PUI fueron definidos como “grupos interdisciplinarios de investigación que funcionan al interior de la Universidad y agrupan profesores de diferentes disciplinas para el trabajo interdisciplinario alrededor de temas de interés común” (IDEA, 1991), y su creación en 1991 “intentó construir pautas de largo alcance y definir políticas marco para la investigación, a la vez que deseaba asegurar una diversidad estratégica de vasos comunicantes en el quehacer investigativo” (IDEA, 1991).

En el Plan Global de Desarrollo de la Universidad Nacional, para el periodo 1999-2003, se propuso una estrategia de presencia nacional con el fin de configurar programas específicos que apoyaran los Campos de Acción Institucional, CAI, y los Programas Académicos Estratégicos, PRE, que en su momento fueron considerados como prioritarios para la Universidad. “Los CAI son ejes temáticos en los cuales diferentes disciplinas confluyen con el propósito de abordar problemas nacionales de alto grado de complejidad. Estos ejes tienen como propósito fomentar lo inter y transdisciplinario y estimular la creación de redes académicas institucionales” (Universidad Nacional de Colombia, 1999b).

Los PRE se formularon desde cada CAI fundamental; se centraban en un problema nacional o en una responsabilidad institucional fundamental con el objetivo de buscar el beneficio social y la contribución al desarrollo del país, expresando una política académica integral (formación, investigación y extensión), además de promover la cooperación entre sedes y facultades (Universidad Nacional de Colombia, 1999b).

En el Plan Global de Desarrollo 1999-2003 se formularon diez CAI, cada uno de los cuales con alrededor de cinco PRE; no hay un CAI que haga referencia estricta a investigación en materiales y minerales, pero existen algunos temas relacionados con la agenda. En la tabla 4 se pueden apreciar los PUI, CAI y PRE que más se relacionan con la Agenda CTMM.

Tabla 4. PUI, CAI y PRE relacionados con la Agenda CTMM

PUI	CAI (1999-2003)	PRE (1999-2003)
Ciencia, tecnología y cultura	Ambiental	Gestión del medio ambiente Recursos naturales no renovables
Energía	Desarrollo tecnológico	Nuevos materiales y procesos Energía
Medio ambiente		

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Global de Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia 1999-2003 (Universidad Nacional de Colombia, 1999b).

El Plan Global de Desarrollo 2007-2009 persistió en el ejercicio de un liderazgo estratégico para consolidar la labor investigativa, proponiendo para ello alianzas estratégicas con los principales grupos de investigación de otras universidades o institutos nacionales y el establecimiento de vínculos de cooperación con pares internacionales, planteando la conformación de Redes de Investigación para potenciar los esfuerzos individuales de los investigadores y convertirlos en acciones claras de trabajo colaborativo teniendo en cuenta la concepción de una Universidad multi-sedes (Universidad Nacional de Colombia, 2006a).

En lo referente a los ejercicios de Redes de Investigación, por iniciativa de algunos profesores de la Facultad de Ciencias de la sede Bogotá, desde el año 2001 se han hecho esfuerzos por generar una Red de Investigadores en Ciencia e Ingeniería de Materiales, CIM, de la Universidad Nacional de Colombia, lo cual ha permitido identificar una masa crítica intelectual en el área, representada en más de 150 investigadores distribuidos en cerca de 80 grupos de investigación y una infraestructura con equipos básicos y competitivos.

En el año 2006, se llevó a cabo el Tercer Encuentro de Investigadores en Ciencia, Ingeniería y Tecnología de Materiales de la Universidad Nacional realizado en Rionegro del 5 al 7 de octubre, que estuvo orientado a la organización y potenciación de la CIM a través de la creación de un Instituto en Materiales que tenía por objeto generar una sinergia interdisciplinaria e institucional (entre diferentes facultades, institutos y sedes de la Universidad) para la consolidación de las áreas más pertinentes en CIM y para el establecimiento de políticas viables y sostenibles en el desarrollo de los materiales a mediano y largo plazo.

Posteriormente, la Vicerrectoría de Investigación formuló el Plan Estratégico de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia 2005-2017, que considera cinco lineamientos estratégicos para consolidar las actividades de investigación en la

Universidad. Los elementos que se desprenden de estos lineamientos relacionados con la Agenda CTMM se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Lineamientos básicos del Plan Estratégico de Investigación 2005-2017 relacionados con la Agenda CTMM

Lineamiento	Elemento relacionado
Apoyo y fomento a centros de investigación de excelencia.	Materiales, energía, estudios ambientales, innovación agroindustrial, modelación, simulación y otros.
Fortalecimiento y generación de programas de doctorado.	Doctorado en Ciencias de la Tierra. Doctorado en Ciencias Ambientales. Doctorado en Electrónica y Telecomunicaciones.
Consolidación y creación de vínculos con la industria y el Estado.	Biotecnología, Automotriz, Computación, Textil, Energía, Electrónica, Petroquímica, Ambiental y Salud.
Apoyo y fortalecimiento en la producción académica derivada de la investigación.	Fortalecer productos de investigación (libros, capítulos de libro, artículos, prototipos, patentes, licencias y otros).
Fomento a la internacionalización de la investigación de la Universidad.	Desarrollo sostenido de la calidad y captación de recursos.

Fuente: Adaptado del Plan Estratégico de Investigación 2005-2017 (Universidad Nacional de Colombia, 2006b).

Con el Plan Global de Desarrollo 2010-2012, se propone promover una Universidad moderna de investigación; de esta forma se plantea el Proyecto Prospectiva UN-Agendas de Conocimiento, que tiene como objetivo fortalecer los procesos de generación y apropiación de conocimiento realizado por los investigadores, a través de sus diversas formas de asociación y la construcción colectiva de una visión compartida de futuro, en la que identifiquen los escenarios e integren su capacidad y experiencia a través de programas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, innovación, artísticos y culturales de carácter interdisciplinar con alto impacto para el país, e incidan en la construcción de conocimiento con proyección internacional y con pertinencia nacional (VRI, 2010c).

1.5 Capacidades de investigación del entorno colombiano e institucional

Para el año 2008, la VRI solo contaba con información básica de sus actividades de investigación y extensión, razón por la cual durante el período comprendido entre los años 2008 y 2009 diseñó e implementó un modelo para la medición de las capacidades⁴ de investigación, el cual es empleado en esta sección, donde las capacidades reflejan una dinámica acumulativa, en tanto que se basa en el conocimiento y su naturaleza intangible, observados como resultado de los componentes del capital intelectual.

La VRI definió las diferentes dimensiones del capital intelectual así: i) capital humano, que se refiere a los actores relacionados con los procesos de investigación, a los conocimientos, habilidades, valores y actitudes de las personas, y considera los grupos de investigación y sus respectivos integrantes. ii) capital estructural, definido como la estructura organizativa formal e informal y las relaciones internas que estas tengan, además de métodos y procedimientos de trabajo, sistemas de dirección y gestión, software especializado, base de datos y sistemas de información donde se recogen los productos académicos de I+D. Por último, el iii) capital relacional, donde se exponen los diferentes lazos con otras instituciones que la Universidad ha identificado como parte de sus procesos de investigación.

En este marco, para el entorno nacional se analizan entonces el capital humano y el capital estructural a través de búsquedas sistemáticas en la Plataforma ScienTI-Colombia donde se ubicaron grupos de investigación, y en el Sistema Nacional de Información de Educación Superior, SNIES, de donde se recabó información de los programas de formación existentes en Colombia; en ambos casos se identificaron aquellos relacionados con áreas de conocimiento en ciencia y tecnología de materiales y minerales. Por otro lado, las capacidades acumuladas de la Universidad Nacional de Colombia relacionadas con los materiales y los minerales se analizan desde la perspectiva de los tres componentes del capital intelectual, para el período comprendido entre los años 2000 y 2010 a partir de insumos suministrados por la VRI.

1.5.1 Capacidades de investigación del entorno colombiano

Se refiere de manera general a las capacidades de investigación y formación en Colombia sobre los temas relacionados con la Agenda CTMM, por lo que se identifican los grupos de investigación registrados en la plataforma ScienTI – Colombia de Colciencias, así como los programas ofertados por las universidades del país y reportados en el SNIES

4 La Universidad Nacional de Colombia realizó un ejercicio de identificación de las capacidades de investigación en el período 2000-2008; en ese ejercicio se estableció que por capacidad se entiende “lo que se sabe hacer”, que incluye la capacidad personal, las organizativas y las tecnológicas y estructurales, que confieren valor a las actividades de la organización (Bueno *et al.*, 2002, tomado de VRI, 2009).

del Ministerio de Educación, que en ambos casos se encuentran agrupados por áreas de conocimiento comunes.

1.5.1.1 Capital humano

A partir de la revisión realizada en la base de datos de grupos de Investigación GrupLAC (Colciencias, 2011c), se encontró que en el país existen 150 grupos de investigación que trabajan en temas relacionados con la Agenda CTMM, de los cuales el 24,7% corresponde a grupos de la UN. En la tabla 6 se clasifican estos grupos de acuerdo con el área de conocimiento en la cual se desempeñan.

Tabla 6. Distribución de los grupos de investigación en el país en temas de la Agenda CTMM por áreas de conocimiento

Área de conocimiento	No. Grupos Colciencias	%	No. Grupos UN	%
Arquitectura	1	0,7	0	0
Educación	1	0,7	0	0
Farmacia	1	0,7	1	0,7
Física	34	22,7	11	7,3
Geociencias	12	8	4	2,7
Ingeniería	86	57,3	14	9,3
Multidisciplinar	1	0,7	0	0
Odontología	1	0,7	1	0,7
Química	13	8,7	6	4
Total	150	100	37	24,7

Fuente: Adaptado de Colciencias (2011c).

Las áreas de conocimiento de física e ingeniería son las que tienen mayor número de grupos de investigación registrados en Colciencias que se relacionan con las áreas de trabajo de la agenda; en menor medida están las áreas de química y geociencias.

1.5.1.2 Capital estructural

En cuanto al capital estructural nacional, se realizó una exploración en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior, SNIES, del número de programas en educación superior existente en el país en temas afines a la Agenda CTMM. De acuerdo con la información hallada se constató la existencia de 1.132 programas de pregrado y 439 programas de posgrado, en su mayoría relacionados con la ingeniería.

En la tabla 7 se clasifican dichos programas por área general de conocimiento y por tipo de programa (pregrado o posgrado).

Tabla 7. Distribución de programas de educación superior en temas afines a la Agenda CTMM

Área General	Programas de pregrado	%	Programas de posgrado	%	TOTAL	%
Ingeniería Civil y afines	175	15,5	117	26,7	292	19
Ingeniería de Minas, Metalurgia y afines	52	4,6	40	9,1	92	6
Ingeniería Eléctrica y afines	100	8,8	22	5,0	122	8
Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y afines	435	38,4	92	21,0	527	34
Ingeniería Mecánica y afines	239	21,1	43	9,8	282	18
Ingeniería Química y afines	46	4,1	11	2,5	57	4
Física	17	1,5	47	10,7	64	4
Geología, otros programas de ciencias naturales	14	1,2	18	4,1	32	2
Química y afines	54	4,8	49	11,2	103	7
Total	1.132	100	439	100	1.571	100

Fuente: Adaptado de SNIES - *Sistemas información* (s.f.).

El área de conocimiento con mayor número de programas de pregrado es la Ingeniería Electrónica, telecomunicaciones y afines, seguida de la Ingeniería Mecánica y afines. En cuanto a los programas de posgrado, hay una mayor cantidad en el área de Ingeniería Civil y afines.

1.5.2 Capacidades de investigación del entorno institucional

A partir de los insumos suministrados por la VRI, tales como: productos académicos reportados ante el Comité de Puntaje, proyectos de investigación y de extensión registrados en Quipu, y los grupos de investigación pertenecientes a la agenda, se procedió a identificar las capacidades de la Universidad Nacional de Colombia para el período comprendido entre los años 2000 y 2010, previa revisión, depuración y análisis; se agrupa la información en: capital humano, capital estructural y capital relacional.

1.5.2.1 Capital humano

El capital humano “es entendido como el conjunto de conocimientos, habilidades, experiencia, valores y actitudes de las personas que trabajan en la institución” (VRI, 2009); tiene relación con la participación de grupos de investigación e investigadores en los ejes temáticos de la Agenda CTMM. A partir de los proyectos y productos relacionados con las áreas de la agenda se identificaron 175 investigadores y 181 grupos de investigación que dan soporte académico e investigativo.

De los 181 grupos identificados, 140 desarrollan sus actividades en alguna de las sedes de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá tiene el mayor número de grupos con un total de 82, como lo muestran los datos de la figura 3.

Del total de 181 grupos de investigación, hay 41 que tienen integrantes provenientes de más de una sede (inter-sedes), lo que promueve la interacción y la cooperación entre las diferentes sedes que integran la Universidad Nacional de Colombia en temas relacionados con el eje central de esta agenda. Las ciudades de Bogotá-Medellín son las que tienen mayor cantidad de grupos de investigación trabajando conjuntamente, con un total de 17, seguido de Bogotá-Manizales con 6.

Figura 3. Grupos de investigación de la Agenda CTMM por sedes

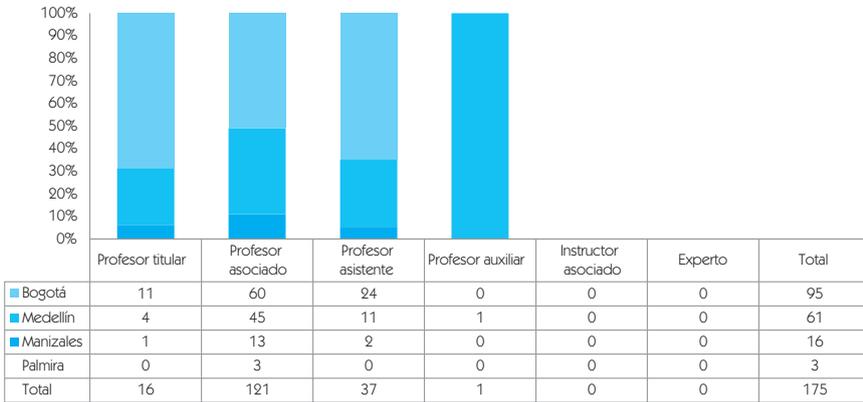


Grupos intersedes	No. Grupos
Bogotá Caribe	1
Bogotá Manizales	6
Bogotá Medellín	17
Bogotá Palmira	3
Bogotá Medellín Caribe	1
Bogotá Medellín Manizales	2
Bogotá Medellín Manizales Palmira	1
Bogotá Medellín Manizales Palmira Amazonía	1
Manizales Palmira	1
Medellín Manizales	4
Medellín Orinoquía	1
Medellín Palmira	3
Total	41

Fuente: Base de Datos Grupos entregado por VRI, período 2000 a 2010.

En lo referente a la planta docente, es importante destacar que 175 docentes han investigado en temas relacionados con la agenda, y están asociados a alguno de los 181 grupos de investigación identificados; de estos investigadores, 121 son profesores asociados, es decir el 69%, la mayoría de los cuales están en las ciudades de Bogotá y Medellín, seguido de profesores asistentes, para un total de 37, correspondiente al 21%; en menor medida hay profesores titulares y auxiliares. Esta información se resume en la figura 4.

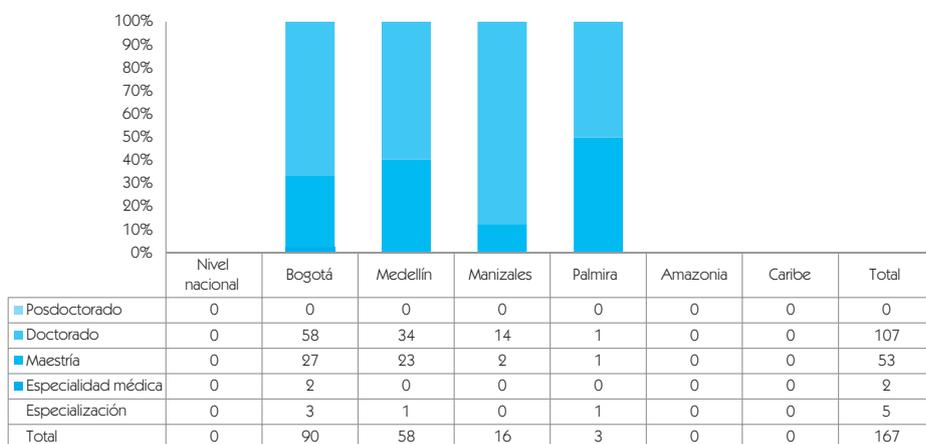
Figura 4. Categoría de los docentes en la Agenda CTMM



Fuente: VRI a partir de sistema SARA, Quipu y Comité de Puntaje a diciembre 31 de 2010.

La figura 5, por su parte, muestra el nivel de formación de los investigadores vinculados a las áreas de la agenda para el período comprendido entre los años 2000 y 2010; de 167 docentes con estudios de posgrado, 107 tienen estudios de doctorado, es decir el 61%, la mayoría de los cuales se encuentran ubicados en las sedes Bogotá y Medellín, seguido de 53 docentes con estudios de maestría, que corresponde al 30%.

Figura 5. Nivel de formación de los docentes vinculados a los grupos de investigación relacionados con la Agenda CTMM



Fuente: VRI a partir del Sistema SARA, período 2000 a 2010.

El capital humano para la Agenda CTMM se resume en: 181 grupos de investigación que desarrollan actividades académicas e investigativas relacionadas con áreas y temas de la agenda, 41 de los cuales son de carácter inter-sede, y 175 investigadores que apoyan las labores, el 61% de los cuales tiene formación doctoral y el 69% son profesores asociados.

1.5.2.2 Capital estructural

El capital estructural se refiere a la infraestructura que incorpora, capacita y sostiene al capital humano, como productos, proyectos y todo aquello que contribuye a generar el escenario de motivación, creatividad y producción para el capital humano (VRI, 2010b). En el contexto de las agendas de conocimiento, el capital estructural se analizó a partir de dos grandes elementos, el primero, los productos académicos y de investigación⁵ en el área particular, y el segundo, los proyectos de investigación⁶. Los

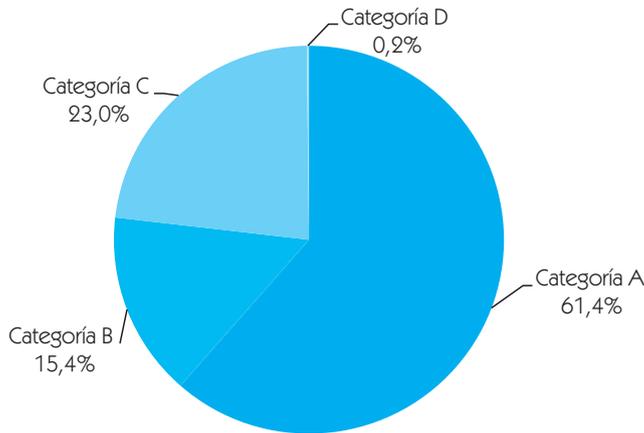
5 Producto académico y de investigación: es el resultado de una dinámica sobre la puesta en marcha del plan de acción de los grupos de investigación. Los productos de investigación se dividen en: i) productos de nuevo conocimiento –categoría A; ii) productos relacionados con la formación de investigadores –categoría B; iii) productos asociados con la apropiación social del conocimiento –categoría C (pueden ser, entre otros, artículos, libros, normas, registros de propiedad intelectual, formación de capital humano, participación en programas de posgrado, asesorías, extensiones a la comunidad y apropiación social del conocimiento), y iv) Premios y distinciones –categoría D.

6 Proyecto de investigación: son actividades teóricas, prácticas y experimentales que realizan los grupos de investigación enmarcados en una línea de investigación que promueve el grupo, es decir, la temática o área de investigación en la cual se centran. Los proyectos pueden ser de investigación básica y aplicada.

productos académicos y de investigación han sido categorizados según: i) categoría A: productos de generación de nuevo conocimiento⁷; ii) categoría B: productos relacionados con formación⁸; iii) categoría C: productos de apropiación social⁹ y iv) categoría D: premios y distinciones.

Se encontraron 1.787 productos relacionados con la agenda, de los cuales el 61,4% se halla en la categoría de generación de nuevo conocimiento (categoría A) y el 15,4% en la categoría de formación (categoría B). Hay 411 productos de apropiación social del conocimiento equivalentes al 23% (categoría C), que hacen referencia a la exposición que han realizado los investigadores de sus trabajos en diferentes escenarios; el 0,2% restante corresponde a premios y distinciones nacionales e internacionales que se han obtenido (categoría D). La figura 6 resume gráficamente esta información.

Figura 6. Categoría de productos de la Agenda CTMM

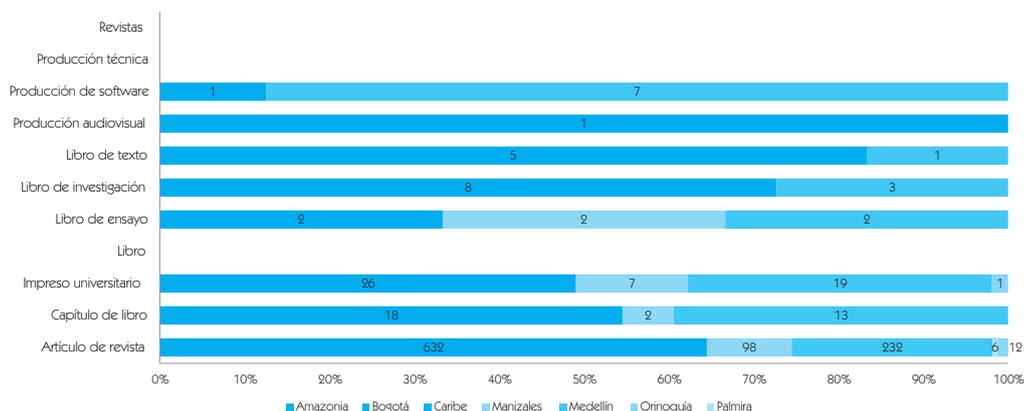


Fuente: VRI a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período 2003 a 2010.

- 7 Productos de nuevo conocimiento –categoría A: esta categoría hace referencia a productos de investigación tales como: artículos de investigación, libros de investigación, libro de autor que presente resultados de la investigación, capítulos de libros, voces en enciclopedias y similares, productos o procesos tecnológicos patentados o registrados, productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial, productos de creación artística y normas. Los productos de creación artística son productos de nuevo conocimiento que contemplan entre otros: memoria fotográfica o audiovisual de los objetos de arte desarrollados en la investigación, exposiciones en recintos de prestigio con catálogo o memoria en medio audiovisual, audiciones de concierto en recintos de prestigio con programa y memoria de audio, partitura final lista para impresión, grabación en CD lista para publicación, formato audiovisual listo para publicación.
- 8 Productos de investigación relacionados con la formación de investigadores –categoría B: se refiere a las tesis doctorales o de maestría.
- 9 Productos de investigación asociados con la extensión o apropiación social del conocimiento –categoría C: abarca productos de divulgación o popularización de resultados de investigación, tales como: artículos publicados en medios de divulgación, libros de divulgación científica, organización de evento científico o tecnológico, presentación de ponencia en evento científico o tecnológico, capítulo en memorias de congreso que presenten resultados de investigación, curso de extensión basado en resultados del proyecto de investigación.

La figura 7 presenta en detalle los productos de generación de nuevo conocimiento (categoría A) de la Agenda CTMM. La mayoría corresponde a artículos de revista producidos sobre todo en la ciudad de Bogotá, con el 64% de la producción registrada; le siguen las ciudades de Medellín y Manizales; en su orden, por cantidad de productos generados, le siguen a los artículos de revista, los impresos universitarios y los capítulos de libro.

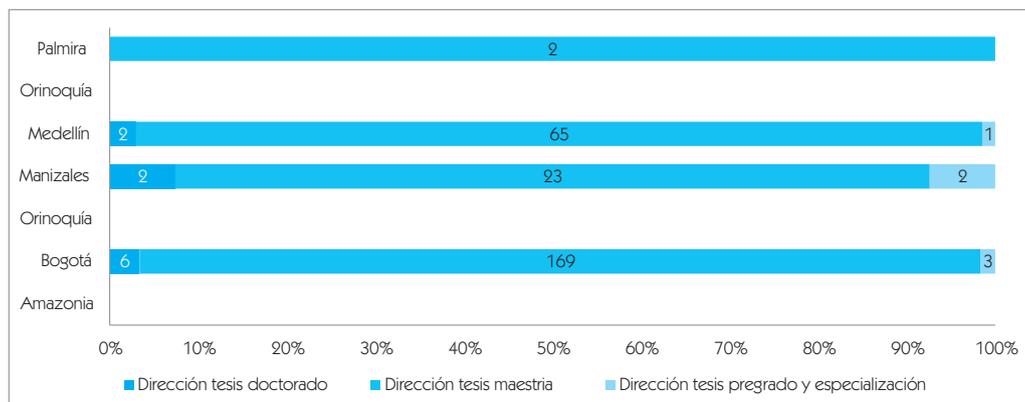
Figura 7. Productos de nuevo conocimiento por sede de la Agenda CTMM



Fuente: VRI a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período 2003 a 2010.

Existen 275 productos de categoría B, relacionados con la dirección de tesis en los niveles de pregrado y posgrado; la sede Bogotá es la que más registros tiene con un total de 178, de las cuales 169 son tesis de maestría. La figura 8 resume esta información.

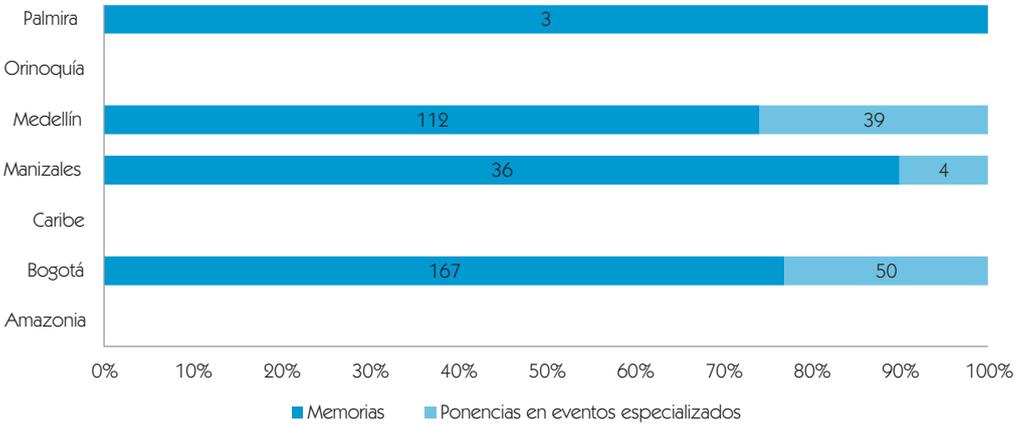
Figura 8. Productos de formación



Fuente: VRI a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período 2003 a 2010.

En la categoría de productos de apropiación social, presentados en la figura 9, se encontró que la mayoría de productos de este tipo corresponden a memorias; en la producción de estas se destacan las ciudades de Bogotá, Medellín y Manizales. El resto de productos encontrados corresponde a ponencias en eventos especializados.

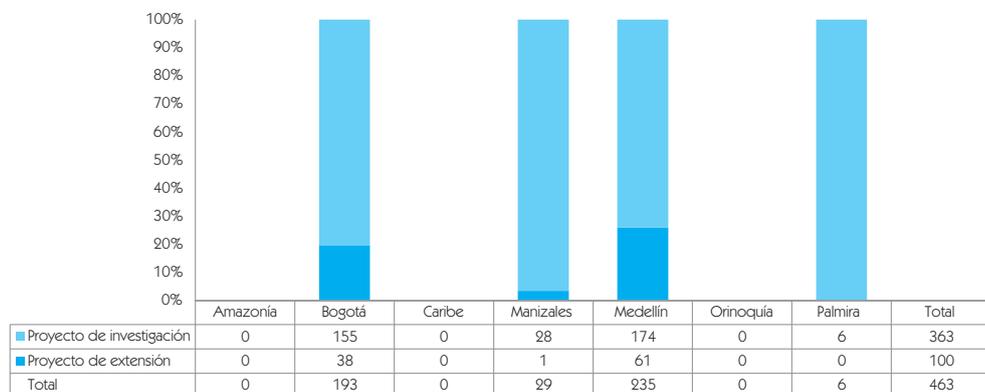
Figura 9. Productos de apropiación social



Fuente: VRI a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período 2000 a 2010.

El segundo elemento que constituye el capital estructural es el de proyectos, ya sean de investigación o extensión. La figura 10 presenta las estadísticas de los 463 proyectos desarrollados por los grupos de la Universidad Nacional de Colombia en las áreas de la Agenda CTMM, de los cuales 363 son de investigación y 100 son de extensión; se destaca el liderazgo de Medellín con 61 proyectos de extensión y 174 de investigación, sin dejar de lado las otras sedes que han realizado proyectos en las áreas de la agenda.

Figura 10. Proyectos de investigación y extensión de la Agenda CTMM



Fuente: VRI a partir de Sistema Quipu, período 2000 a 2010.

Dentro del capital estructural de la Agenda CTMM, también se considera su participación en uno de los seis Centros de Investigación de Excelencia reconocidos por Colciencias, los institutos y los centros de la UN. El Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, CENM, cuenta con la contribución de diez universidades y cuatro instituciones internacionales; la Universidad Nacional de Colombia hace sus aportes con el Grupo de Investigación de Nuevos Materiales. El CENM tiene las siguientes líneas de investigación: materiales de recubrimientos, dispositivos de estado sólido, materiales compuestos y nanomagnetismo. En la figura 11 se muestran otros centros e institutos que desarrollan actividades académicas relacionadas con la agenda.

Figura 11. Capital estructural, institutos y centros de la UN relacionados con la Agenda CTMM



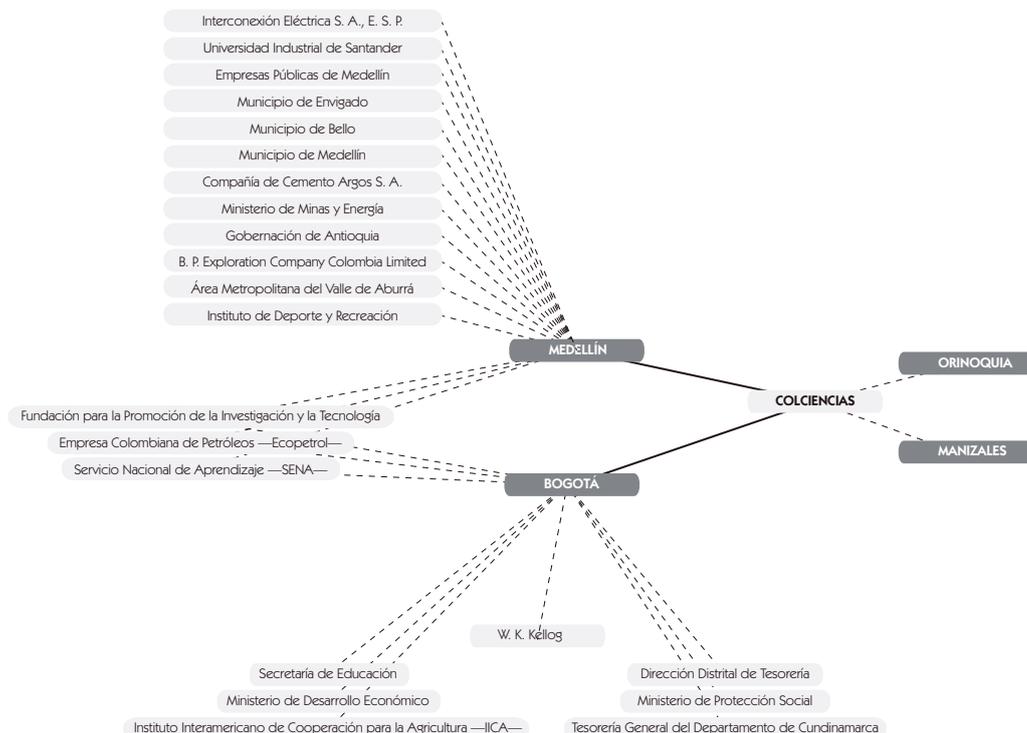
Fuente: VRI, período 2000 a 2011.

Tres de las sedes tienen entre su capital centros e institutos para desarrollar actividades de investigación propias de la Agenda CTMM, como el Centro de Investigación en Metalurgia Extractiva, Cimex, y el Instituto de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, entre otros.

1.5.2.3 Capital relacional

Se refiere a los institutos o entidades con los cuales los grupos de investigación o unidades de cada una de las sedes tienen relaciones académicas e investigativas. En la figura 12 aparecen los institutos y centros de investigación externos con los que la Universidad desarrolla proyectos en temas de materiales y minería.

Figura 12. Capital relacional, instituciones externas con las que se han desarrollado proyectos



Fuente: VRI a partir de Sistema SARA, Quipu, periodo 2003 a 2009.

La sede Medellín ha desarrollado proyectos con al menos once entidades, entre ellas la Compañía de Cementos Argos, el Ministerio de Minas y Energía, las Empresas Públicas de Medellín y la Gobernación de Antioquia. La sede Bogotá ha establecido relaciones con entidades como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, el Ministerio de Desarrollo Económico, y otras; adicionalmente, ha habido proyectos conjuntos entre las sedes Bogotá y Medellín con la Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol, el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, y la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología, FPIT.

1.6 Formas de interacción de las agendas, antecedentes del ajuste institucional y del trabajo de los escenaristas

La Universidad Nacional de Colombia, a través de la VRI, ha conformado un equipo de profesores con el propósito de que reconozca las formas de organización existentes para la investigación y extensión, y para que identifique posibles escenarios con referentes nacionales e internacionales. El Proyecto Agendas de Conocimiento define los escenarios como un modelo de organización o de establecimiento de relaciones permanentes o transitorias para ejecutar planes, programas y proyectos de investigación que propenden por la generación de desarrollo tecnológico, en el que investigadores, creadores e innovadores se identifican como la célula básica e insustituible de la actividad académica, interactuando en espacios que procuran un equilibrio entre ciencia, tecnología, creación y cultura, con el fin de ampliar el conjunto de posibilidades para la creación artística, la generación y gestión del conocimiento y la recuperación de saberes, de tal manera que se articule el trabajo académico con el compromiso misional de la Universidad, el Estado y la sociedad (VRI, 2011b).

Así las cosas, la Universidad se ha organizado en grupos de investigación, redes, institutos, consultorios, centros y observatorios; sin embargo, el equipo de profesores que trabaja estos escenarios sugiere que podría incorporar otras estructuras organizativas, como por ejemplo: parques tecno-científicos, *spin-off*, corredores tecnológicos, laboratorios virtuales, entre otros, pero siempre desde la institucionalidad que la Universidad propone, con el fin de garantizar integridad de la gestión y vínculo con la política de la Agenda CTMM.

Los escenarios estarán orientados estratégicamente a fortalecer la interacción intra e interinstitucional de comunidades organizadas en torno a las agendas de conocimiento. A partir de su dinámica se podrá proponer la creación de nuevos institutos o centros. Las interacciones requeridas deben ser realizadas mediante el trabajo en red.

Por su pertinencia, de los documentos elaborados por el Grupo de Trabajo de Escenarios, se retoman los siguientes elementos:

“Es posible entender la pertinencia de crear redes de investigación, creación, extensión e innovación que soporten el trabajo de las agendas de conocimiento, a partir del reconocimiento de las lógicas propias que regulan el trabajo académico, fundadas estas en intereses individuales y colectivos –vale decir, en la construcción de comunidad– y distantes de las lógicas que imperan en otras organizaciones o empresas diferentes de la empresa académica, fundadas ellas en eficiencia, utilidad o crédito inmediato –vale decir, apoyadas en modelos verticales de toma de decisiones” (VRI, 2011c).

Las redes que se plantean se conciben como “elementos tácticos que permiten soportar la actividad de investigación, creación, extensión e innovación, y sentar las bases para el tránsito hacia una Universidad fundamentada en la investigación y la creación. Se justifican y son posibles porque:

- Las capacidades de investigación y extensión identificadas en las agendas demandan modelos de interacción de carácter sináptico que contribuyan al desarrollo de la inteligencia institucional y a la realización de proyectos con efectos sinérgicos que apalanquen la proyección de los resultados académicos sobre la sociedad.
- Coinciden con modelos flexibles de organización de la acción, los cuales han sido identificados por el grupo de trabajo sobre escenarios como los más convenientes para la organización de las actividades académicas en general.
- Las comunidades académicas las han identificado como alternativa estratégica de trabajo, tal como se desprende de las diferentes propuestas formuladas en esa dirección, contenidas en la documentación suministrada al grupo como insumo fundamental para la discusión de escenarios” (VRI, 2011c).

2. VISIÓN DE FUTURO: LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PROPUESTOS

A partir del diagnóstico planteado anteriormente y de las discusiones realizadas por el grupo de expertos, se establecieron los objetivos principal y específicos de la agenda, las metas, el alcance, los retos y las perspectivas desde la visión de los planes de desarrollo; así mismo, se han definido las temáticas en las que la Agenda CTMM debe focalizarse, al igual que los aspectos potenciadores e inhibidores de la misma.

2.1 Objetivo general

Generar, transferir e innovar conocimiento en ciencia y tecnología de materiales y minerales, y promover su apropiación social en un plazo de seis años.

2.2 Objetivos específicos

- Implementar una red que contenga información permanentemente actualizada sobre talento humano, grupos y líneas de investigación, programas académicos, infraestructura física, relaciones con el sector productivo, áreas prioritarias de desarrollo y fuentes de financiación de grupos de investigación.
- Apoyar la formación a niveles de pregrado, maestría, doctorado y posdoctorado en áreas afines que fortalezcan la masa crítica en el área de la ciencia y la tecnología de los materiales y los minerales a través del fortalecimiento y la creación de programas de posgrado.
- Generar patentes y registros de marca bajo las condiciones de confidencialidad convenidas en cada proyecto.
- Desarrollar la infraestructura de laboratorios y centros de cálculo computacional y simulación.

2.3 Metas

- Un instituto de investigación en ciencia y tecnología de materiales y minerales, creado como espacio para identificar, promover, organizar y ejecutar proyectos con carácter interdisciplinario, interfacultades e interse-des, orientado a generar sinergias en el área en un plazo de dos años.
- Protocolos de utilización de laboratorios y simulación en coordinación con la Dirección Nacional de Laboratorios en un plazo de tres años.
- Proyectos organizados en áreas estratégicas de trabajo o macroproyectos para iniciar gestiones de financiación en un plazo de cuatro años.
- Seis productos tales como patentes, licencias, modelos de utilidad y registros en un plazo de seis años.
- Artículos científicos, tesis doctorales, tesis de maestría, proyectos de investigación y proyectos de extensión.
- Aumento del número de egresados de pregrado, especialistas, magísteres, doctores y post doctores.
- Productos de innovación que conduzcan a la reducción de importaciones y al aumento del valor agregado de los productos para exportación. Promover la generación de empleo y la creación de empresas de base tecnológica en temas relacionados con el área en un plazo de seis años.
- Visibilidad científica y proyección internacional para incentivar actividades y proyectos.
- Acuerdos de cooperación entre las empresas y el campo de investigación y desarrollo tecnológico, para aumentar su productividad y competitividad.

2.4 Alcance

Consolidación del área de conocimiento en materiales y minerales en términos de investigación básica, innovación e impacto en el sector industrial en un plazo de seis años.

2.5 Potenciadores e inhibidores

Los expertos de la Agenda CTMM, previa discusión y consenso, proponen los elementos potenciadores e inhibidores que se resumen en la tabla 8. Los potenciadores son aquellos factores que inciden positivamente en el cumplimiento de las metas propuestas por la agenda. En contraposición, los inhibidores corresponden a factores que podrían impedir el cumplimiento de las metas trazadas por la agenda.

Tabla 8. Potenciadores e inhibidores Agenda CTMM

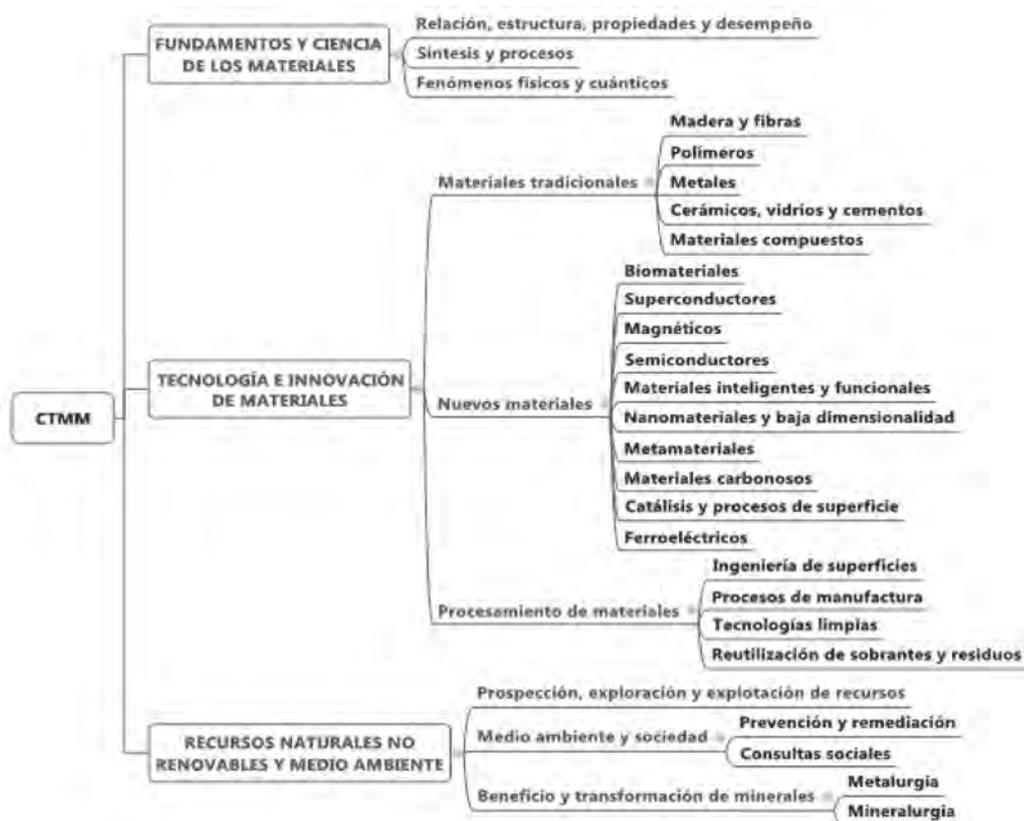
Potenciadores	Inhibidores
Recurso humano	Recursos instrumentales
Trabajo interdisciplinario	Recursos económicos
Convenios de cooperación	Aspectos administrativos de la UN
Alianzas con empresas	Ausencia de la definición de áreas estratégicas
Alianzas con otras entidades educativas	Aspectos jurídicos y logísticos para los procesos de registro de propiedad intelectual y transferencia tecnológica
Proyectos de investigación	Sistema regional de innovación con deficiencias de implementación
Mecanismos de difusión de resultados	Ausencia de pregrado en Ciencia e Ingeniería de materiales
Movilidad y pasantías	Ausencia de posgrado en el área de minerales y geociencias
Articulación con el medio	
Políticas de mejora de la competitividad	
Sistema Nacional de Innovación	

Fuente: Grupo de expertos Agenda CTMM.

2.6 Propuesta inicial de temáticas existentes y emergentes

El árbol de conocimiento se configura en tres niveles jerárquicos: áreas, temas y subtemas. La construcción final ha sido producto de discusiones en reuniones de trabajo, de las cuales han surgido cuatro versiones. En la última versión, en diciembre de 2011, se propuso un árbol de conocimiento que define tres áreas estratégicas de carácter global, relacionadas con ciencia y tecnología de materiales y minerales, en los campos académicos, de investigación y de innovación, con sus respectivos temas y subtemas. El árbol de conocimiento se presenta en la figura 13, donde se visualizan las tres áreas, cada una con tres temas, de los cuales se desprenden algunos subtemas.

Figura 13. Árbol de conocimiento de la Agenda CTMM con áreas, temas y subtemas

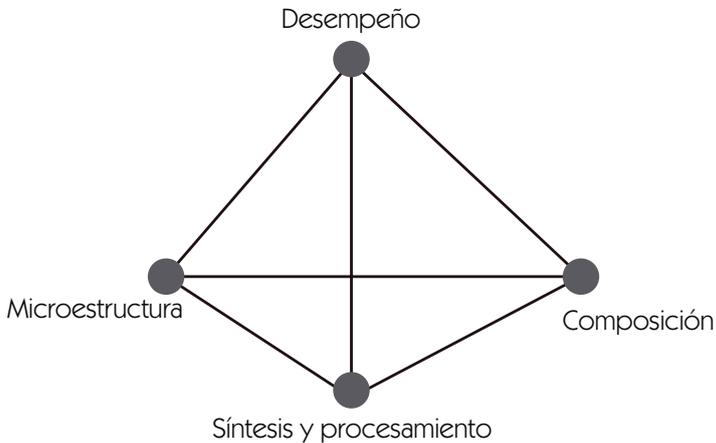


Fuente: Grupo de expertos Agenda CTMM.

El área de Fundamentos y ciencia de los materiales considera la fisicoquímica, la modelación matemática, la estructura y las propiedades de los materiales, así como el procesamiento para el desarrollo de nuevos materiales que la sociedad necesita o desea. Este carácter interdisciplinario se visualiza en el tetraedro de la ciencia e ingeniería de materiales de la figura 14, en el que las ciencias básicas constituyen el fundamento que hace posible el desarrollo de insumos y productos finales de alto valor agregado.

A partir de este tetraedro se plantearon los tres temas que se desprenden del área de Fundamentos y ciencia de los materiales.

Figura 14. Tetraedro de la ciencia de los materiales



Fuente: Adaptación de Askeland y Phulé (2006).

En el área de Tecnología e innovación de materiales se considera el desarrollo de los materiales tradicionales, nuevos materiales y el procesamiento de materiales, conjugando el conocimiento básico, el desarrollo de prototipos y la posterior implementación en líneas de producción. Las actividades innovadoras incluyen todas las operaciones científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales que conducen efectivamente, o tienen por objeto conducir, a la introducción de nuevos productos y procesos susceptibles de ser transferidos.

Entre los materiales tradicionales se incluyen los materiales ligados al desarrollo de la humanidad, tales como madera, fibras naturales, materiales poliméricos, metales, materiales cerámicos, vidrios, cemento y materiales compuestos. Los avances tecnológicos en estos materiales han estado enfocados a mejoras en los procesos de transformación o fabricación y a la optimización de sus propiedades, sumado a las investigaciones en aplicaciones biotecnológicas, nanotecnología, energía, entre otros (WMC, 2008).

Los nuevos materiales hacen referencia a las nuevas tendencias en diseño, obtención y uso de los materiales con propiedades selectivas para aplicaciones novedosas, de carácter funcional o estructural. Se consideran como subtemas destacados del primer grupo los biomateriales, los superconductores, los materiales magnéticos, semiconductores y ferroeléctricos, materiales inteligentes, de baja dimensionalidad y metamateriales; ya en el segundo grupo se consideran los materiales compuestos, los materiales carbonosos y los recubrimientos duros.

Merece especial atención la nanotecnología como un área estratégica en la que confluyen conocimientos de diferentes disciplinas, para obtener productos y procesos

de alto valor agregado. Ha sido de gran interés porque los materiales en esta escala exhiben nuevas propiedades que son diferentes a las propiedades de la misma sustancia en escalas macro e incluso micro (Cielap, 2009). El EU Nanoroadmap definió los nanomateriales como nuevos materiales cuyo tamaño y estructura elemental han sido objeto de ingeniería a escala nanométrica; por lo menos una dimensión debe estar en el rango de 0,1-100 nm (Kanama, 2007).

Con el fin de cubrir todo el espectro de materiales, desde los más tradicionales hasta aquellos de reciente desarrollo obtenidos mediante técnicas modernas, el tema de procesamiento de materiales hace referencia a las diferentes etapas necesarias para la obtención de materias primas, insumos y productos finales; se consideran como subtemas los procesos de molienda fina, mezcla y conformado propios de la manufactura, la ingeniería de superficies, las tecnologías limpias y el reciclaje (reutilización de sobrantes y residuos).

La tercera y última área, Recursos naturales no renovables y medio ambiente, considera temas sensibles en la coyuntura por la búsqueda de alternativas convencionales y no convencionales de fuentes de energía y materiales para aplicaciones industriales y tecnológicas. De particular importancia es la necesidad actual por la búsqueda de fuentes de energía fósil no convencional, incluidos gas asociado al carbón, *shale gas*, arenas bituminosas, diapiros de lodo e hidratos de gas. Desde el punto de vista de las fuentes de energía fósil convencionales y prospección de recursos no renovables en general, que incluyen petróleo, gas natural y minerales, es imperativo el desarrollo de aplicaciones novedosas en: geofísica, tecnologías geoespaciales, percepción remota, bioestratigrafía, quimioestratigrafía, geocronología, geoquitermocronología, sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes, modelamiento de yacimientos y depósitos, entre otros (Grupo de expertos, Agenda CTMM, 2012).

Áreas asociadas a la exploración y explotación de recursos y a las ciencias de la Tierra transversales a la Agenda CTMM incluyen temas en gestión e ingeniería ambiental, manejo del riesgo geológico y exploración de fondos marinos. La agenda debe considerar como fundamento la investigación básica sobre el entendimiento de los sistemas y la dinámica terrestre (Grupo de expertos, Agenda CTMM, 2012).

El tema de prospección corresponde en general a una fase preliminar dentro del proceso que finaliza con el beneficio social del recurso natural. Incluye diversas técnicas de aproximación directa e indirecta de acuerdo con la naturaleza del recurso. La explotación del recurso incluye técnicas ingenieriles para la recuperación y tratamiento del recurso con énfasis en la producción. El método seleccionado para la explotación está determinado por las características del recurso y los límites impuestos por la seguridad, la tecnología y la economía. Las condiciones geológicas, como la inmersión del depósito mineral, la forma y la fortaleza de la pared rocosa, desempeñan un rol importante en la selección del método de explotación (Hartman, 1992).

Por su parte, la mineralurgia es la rama de la ciencia de los materiales que se encarga de estudiar los principios físicos y los procesos a través de los cuales se realiza la separación o el beneficio de las diferentes especies que constituyen una mena, con el fin de aumentar la concentración de la especie valiosa o de preparar el material para etapas posteriores.

En cuanto a los temas de metalurgia, se propone: i) la extracción o beneficio de los metales, tomando sus menas como materia prima, y ii) la elaboración de minerales, a fin de ponerlos en las debidas condiciones para su aprovechamiento y adecuado empleo en la industria (Pécheux, 1928).

La ingeniería de minas abarca la prueba, planeación, desarrollo y explotación de depósitos minerales. Los campos de procesamiento, refinación y fabricación propiamente, son asignados a la metalurgia, aunque hay un gran complemento entre la metalurgia extractiva y la ingeniería de minas (Hartman, 1992).

Respecto a la consideración del medio ambiente dentro de esta área, cabe anotar que este contribuye a la especificación de estilos de vida y costumbres de las sociedades que se establecen en determinado lugar; las acciones ejecutadas directamente sobre los recursos que descansan en los ecosistemas terminan afectando de forma negativa o positiva a las comunidades. Esto hace necesario, a la vez, que se propenda por configurar una estrategia de desarrollo sostenible que mitigue los daños ocasionados a las comunidades, y pueda al mismo tiempo elevar las condiciones de vida de los ciudadanos a partir de la explotación de los recursos naturales y culturales. La ciencia del medio ambiente tiene dos funciones: i) ayudar a proveer soluciones a problemas relacionados con el incremento económico y las demandas de la sociedad que tienen relación con el medio ambiente, y ii) en el futuro ayudar a desarrollar y aplicar adelantos para el desarrollo sostenible, resultados económicos y sociales. Un uso racional del medio ambiente no será posible a menos que este uso sea soportado por un sistema científico de excelencia. La complejidad de las relaciones entre ecosistemas, economía y sociedad hace necesario que las ciencias del medio ambiente abarquen un amplio rango de investigación; esto incluye temas como (Ministry of Research, Science and Technology, 2007):

- Entendimiento de los sistemas e integración de diferentes disciplinas de conocimiento.
- Transferencia tecnológica y consumo.
- Sistemas de información.
- Cambio climático global.
- Tierras, aguas y costas.
- Diseño urbano y amenazas.
- Bioseguridad.
- Biodiversidad.
- Sistemas oceánicos.

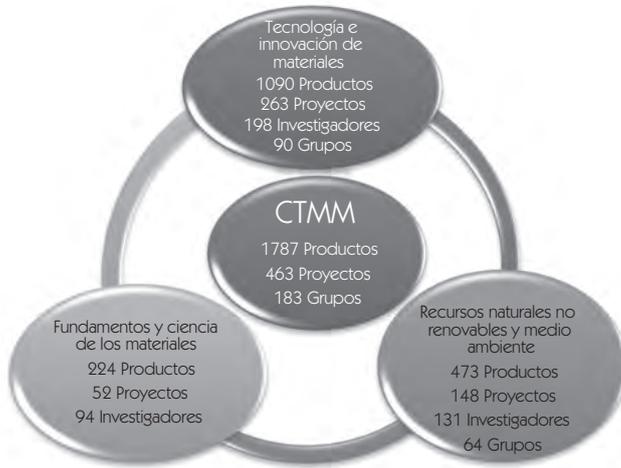
El subtema de consultas sociales ha cobrado importancia en el desarrollo de los proyectos mineros, por lo que debe incorporarse necesariamente en los temas de estudio; la consulta social, también conocida como consulta previa, se define como un proceso de diálogo y concertación intercultural que busca garantizar la participación real, oportuna (previa) y legítima de los grupos étnicos en la toma de decisiones, proyectos o actividades que los afecten, con el fin de proteger su integridad étnica y cultural (Colombia, Ministerio del Interior y de Justicia, Grupo de Consulta Previa, 2009).

2.7 Determinación de énfasis institucionales

Una vez definidas las áreas de trabajo y realizado el proceso de depuración y análisis con el grupo de expertos de la Agenda CTMM, la Universidad Nacional de Colombia ha identificado 181 grupos de investigación y 175 investigadores¹⁰ que realizan labores académicas e investigativas en áreas y temas de la agenda. Se identificaron 463 proyectos y 1.787 productos, como se detalló en la sección 1.5.2. Luego de hacer la consolidación de capacidades, tal y como muestra la figura 15, se concluye que el área con mayor número de productos y proyectos es la de Tecnología e innovación de materiales con el 61% de los productos y el 56% de los proyectos, seguida del área de Recursos naturales no renovables y medio ambiente, con el 26% y el 32%, respectivamente; la tercera área de Fundamentos y ciencia de los materiales tiene el 12% y el 11% de los productos y proyectos restantes.

10 Para la estimación del número de investigadores se tuvo en cuenta la definición ofrecida por la VRI como “aquel docente que cuenta con productos de nuevo conocimiento o proyectos de investigación desarrollados en los últimos tres años” (VRI, 2009), registrados en las bases de datos SARA y en Quiipu. Así mismo, se adopta la definición de proyecto de investigación como “actividades teóricas, prácticas y experimentales que realizan los grupos de investigación enmarcados de acuerdo con la línea de investigación que promueve el grupo, es decir, la temática o área de investigación en la cual se centran” (VRI, 2009).

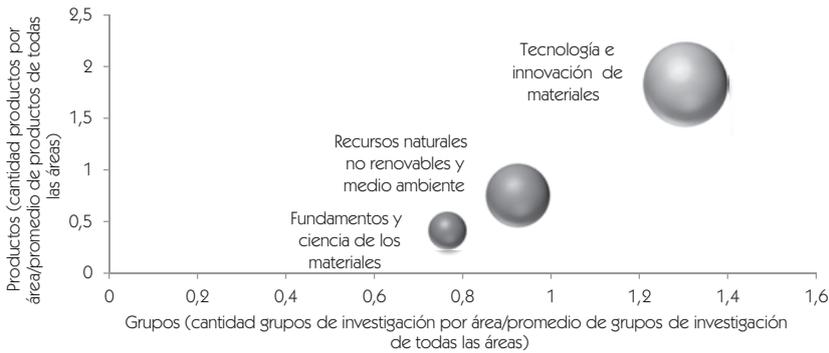
Figura 15. Capacidades acumuladas de la Agenda CTMM



Fuente: VRI a partir de Comité de Puntaje, SARA y Quipu en el período 2000 a 2010.

La figura 16 presenta la comparación de las áreas de la agenda en un gráfico de dispersión. La ubicación en el eje horizontal está dada por la cantidad de grupos de investigación asociados al área, la altura está dada por la cantidad de productos, y el tamaño de la burbuja, por la cantidad de proyectos.

Figura 16. Dispersión de las capacidades de la Agenda CTMM por áreas*



* El diámetro de la burbuja está dado por los proyectos encontrados en cada área (cantidad de proyectos por área / promedio de proyectos de todas las áreas).

Fuente: VRI a partir de Comité de Puntaje SARA y Quipu, período 2000 a 2010.

Se observa la predominancia del área de Tecnología e innovación de materiales en cuanto a grupos de investigación, productos y proyectos, seguida de las áreas referidas a recursos no renovables y a la ciencia de los materiales.

2.8 Elementos vinculantes

Los expertos de la Agenda CTMM han indicado de manera preliminar que los temas de la agenda están relacionados con otras agendas para el desarrollo de la investigación transdisciplinar en la Universidad, lo que constituye fortalecimiento y robustez en los grupos, proyectos y productos generados; esta relación es denominada elementos vinculantes, y se detalla en la tabla 9.

Tabla 9. Elementos vinculantes Agenda CTMM con las otras agendas de conocimiento propuestas por la VRI

Agenda	Elementos vinculantes
Ambiente y Biodiversidad	Ecosistemas de aguas continentales, Ecosistemas terrestres, Ecosistemas marinos y costeros, Atmósfera y Entorno y asentamientos humanos.
Arte y Cultura	Industrias culturales y creativas.
Biotecnología	Biotecnología blanca, Biotecnología verde.
Ciencias Agrarias y Desarrollo Rural	Seguridad y soberanía alimentaria, Biocombustibles, Producción sostenible (procesos agroindustriales, producción sostenible y manejo de residuos, cambio climático y gases de efecto invernadero, manejo y conservación de recursos naturales, agroecología y uso eficiente de recursos para la producción agraria).
Construcción de Ciudadanía e Inclusión Social	No se encontraron elementos vinculantes con esta agenda.
Desarrollo Organizacional, Económico e Industrial	Bienestar y desarrollo (infraestructura).
Energía	Fuentes de energía (convencionales y no convencionales), Sostenibilidad y mercados energéticos (Mercados y suministro-generación distribuida), Demanda de energía.
Estado, Sistemas Políticos y Jurídicos	Seguridad y defensa.
Hábitat, Ciudad y Territorio	Político-económico (producción agrícola e industrial), Simbólico-físico (infraestructura y movilidad, vivienda, ciencia y tecnología, ciudad), Físico-ecológico (eco-tecnologías).
Salud y Vida	Tecnologías en salud humana y animal (cirugía mínimamente invasiva y robótica, bioingeniería, micro y nanotecnología, biomateriales).
Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - TIC	Infraestructura (televisión, redes de sensores, comunicación móvil y personal, medios de transmisión), hardware (miniaturización, equipos de comunicación, sensórica, nanotecnología, nanotecnología, automatización y robótica, materiales para microsistemas).

Fuente: Grupo de expertos Agenda CTMM.

3. ANÁLISIS PROSPECTIVO PARA CONSOLIDAR UNA VISIÓN DE FUTURO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y MINERALES

Una vez propuesto el documento con una visión de futuro compartida por parte de los expertos, es sometido a un proceso de discusión con la comunidad académica en la cual se recibieron importantes aportes que se incluyeron dentro del texto; el proceso de discusión contempló la presentación de los avances de la agenda en una gran jornada nacional el pasado 16 de febrero de 2012, así como la valoración del documento propuesto por parte de los investigadores cercanos a las temáticas de la agenda a través de una encuesta prospectiva y de comentarios personalizados recibidos a través del correo electrónico de la agenda.

El capítulo está estructurado en su inicio por una sección que resume de forma ejecutiva los resultados de los dos lanzamientos de la encuesta prospectiva que realimentan el documento propuesto, y además recoge a manera de ejemplo los posibles proyectos que han sido sugeridos por los encuestados.

3.1 Resumen ejecutivo de los resultados de la encuesta prospectiva

La encuesta prospectiva estuvo dirigida a dos grupos diferentes, los directores de los grupos de investigación identificados como afines en las capacidades institucionales (ver figura 3), y a los investigadores y docentes que desarrollan actividades en tales grupos.

El objetivo general de la encuesta es recibir una realimentación por parte de la comunidad universitaria frente al trabajo propuesto por el grupo de expertos. A continuación se describen los principales resultados:

3.1.1 Ficha técnica de la encuesta

En la tabla 10 se presenta la ficha técnica de la encuesta dirigida a los directores de grupos de investigación. El lanzamiento tuvo lugar en el período de tiempo comprendido entre el 11 de julio y el 10 de agosto de 2012; se recibieron 29 respuestas de las 177 esperadas, equivalente al 16%.

Tabla 10. Ficha técnica de la encuesta prospectiva primera recolección, población directores de grupos de investigación

Ficha técnica encuesta prospectiva - Agenda CTMM	
Realizada por:	Expertos en las áreas de la Agenda CTMM como parte del Proyecto Agendas de Conocimiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia
Realizada en:	Software Sphinx Plus V5 y aplicada en línea
Fecha:	11 de julio de 2012 al 10 de agosto de 2012
Población:	Directores o líderes de 181 grupos de investigación pertenecientes a la Universidad Nacional de Colombia e identificados dentro de las capacidades reales de la Agenda CTMM
Unidad de muestreo:	Profesores - Directores de grupos de investigación
Respuestas recolectadas:	16% de la población invitada, de un total de 177 invitaciones enviadas

Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

En la tabla 11 se presenta la ficha técnica de la encuesta que fue dirigida a los docentes investigadores identificados en las capacidades, cuyo lanzamiento tuvo lugar en el periodo de tiempo comprendido entre el 12 de julio al 10 de agosto de 2012, enviado a través de correo electrónico y remitido a 708 investigadores con tres recordatorios y una respuesta de 97 investigadores, lo cual corresponde a un porcentaje de respuesta del 14%.

Tabla 11. Ficha técnica de la encuesta prospectiva segunda recolección, población investigadores

Ficha técnica encuesta prospectiva - Agenda CTMM	
Realizada por:	Expertos en las áreas de la Agenda CTMM como parte del Proyecto Agendas de Conocimiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia
Realizada en:	Software Sphinx Plus V5 y aplicada en línea
Fecha:	12 de julio de 2012 al 10 de agosto de 2012
Población:	708 investigadores identificados en las capacidades de la Agenda CTMM, que son o han tenido algún vínculo con la UN como docentes de planta
Unidad de muestreo:	Profesores - investigadores pertenecientes a grupos de investigación
Respuestas recolectadas:	14% de la población invitada, de un total de 708 invitaciones enviadas

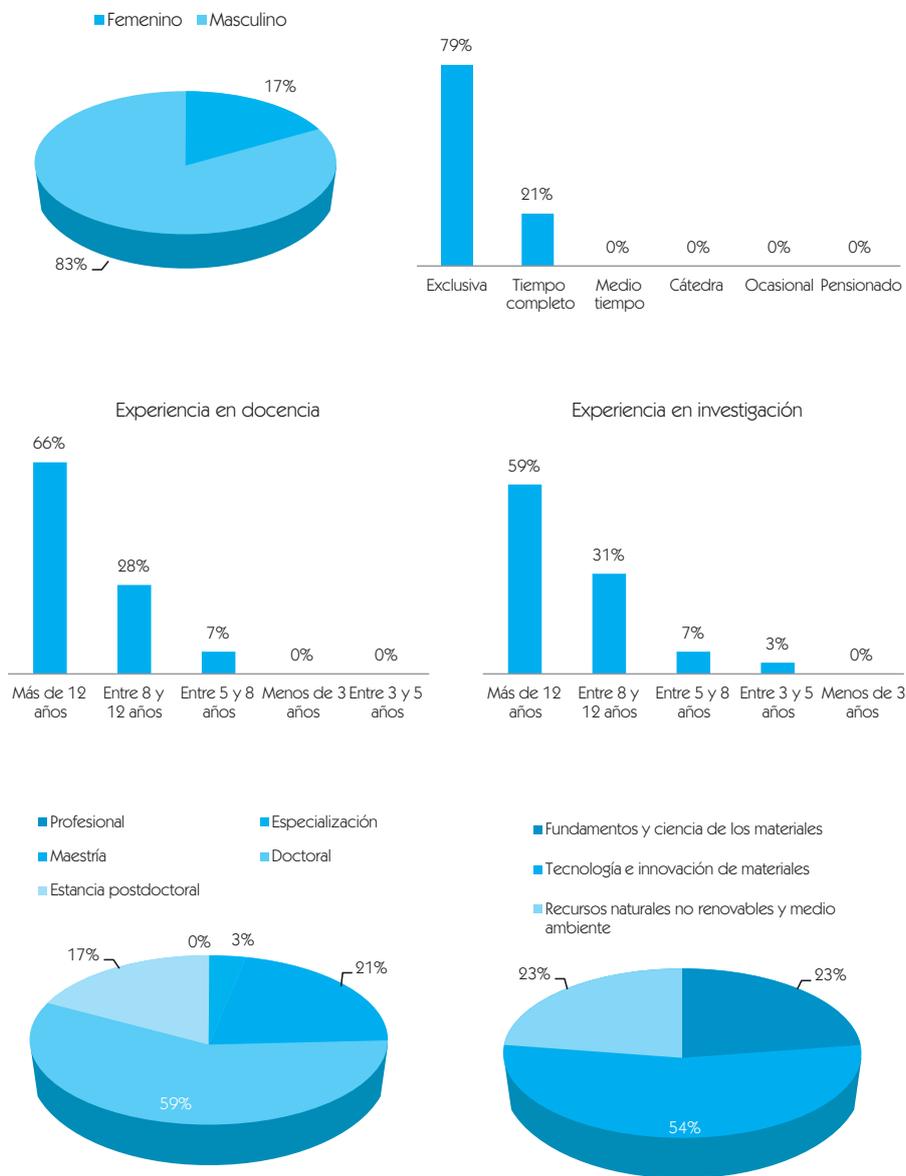
Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

3.1.2 Perfil de los encuestados

La caracterización de los directores de grupos de investigación que respondieron a la encuesta corresponde al 83% hombres y al 17% mujeres; el 17% de los directores ha realizado estancias posdoctorales, el 59% tiene formación doctoral y el 21% formación de maestría; con respecto a su vinculación, el 79% de los encuestados es de dedicación exclusiva y el 21% restante es de tiempo completo; adicionalmente, el 66% de los directores que participaron en la encuesta tiene más de 12 años de experiencia en docencia y el 59% más de 12 años de experiencia en investigación (ver más detalles en la figura 17).

Con respecto a los investigadores, el 74% de los encuestados son hombres y el 26% investigadoras mujeres. En relación con la formación, el 10% ha realizado estancias posdoctorales, el 37% tiene doctorado y el 45% formación de maestría; el 60% está vinculado con dedicación exclusiva. El 63% tiene más de 12 años de experiencia en docencia y el 42% tiene más de 12 años de experiencia en investigación; en la figura 18 se observa en detalle la información. Se destaca que la mayor respuesta se obtuvo en la Facultad de Ciencias de la Sede Bogotá y de la Facultad de Minas de Medellín, con el 19,6% y 17,5%, respectivamente.

Figura 17. Resumen gráfico primera aplicación encuesta prospectiva a directores de grupos de investigación de la UN



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

Figura 18. Resumen gráfico segunda aplicación encuesta prospectiva a investigadores de la UN

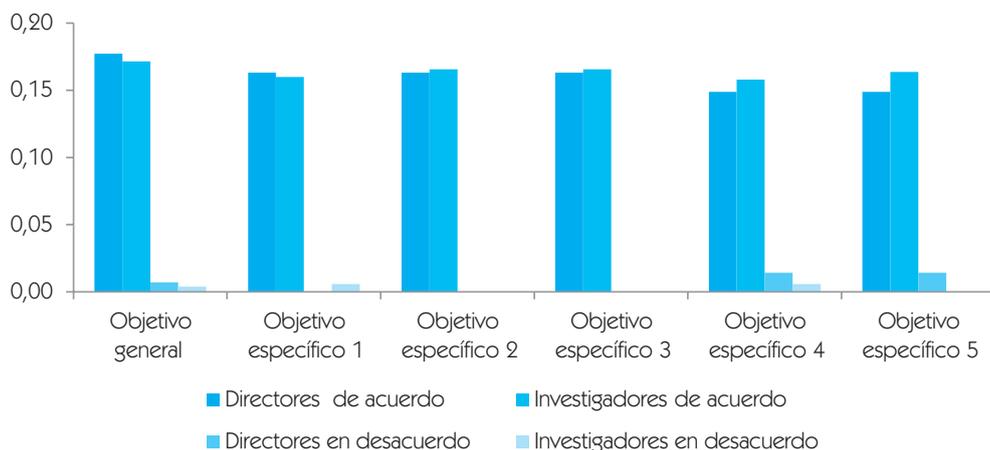


Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

3.1.3 Valoración de objetivos, metas y alcance

El 96% de los directores de grupos de investigación y el 97% de los investigadores que dieron su opinión respecto al objetivo general de la agenda manifiestan estar de acuerdo. A continuación se presentan los datos normalizados y consolidados de las dos aplicaciones de la encuesta prospectiva (directores e investigadores) en relación con los objetivos, metas y el alcance. Así, en la figura 19 se muestra la valoración de los objetivos de la Agenda CTMM siendo evidente su aceptación por parte de los encuestados.

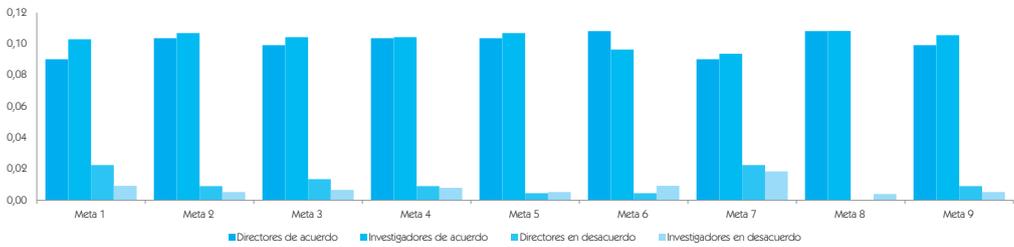
Figura 19. Valoración del grado de acuerdo con los objetivos propuestos en la Agenda CTMM



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

La figura 20 presenta la valoración normalizada en acuerdo y desacuerdo de las metas propuestas en la agenda; se evidencia la aceptación generalizada por parte de la comunidad académica. Por otra parte, el 8% de los directores sugirió modificar o incluir una nueva meta, frente al 17,6% de los investigadores.

Figura 20. Valoración del grado de acuerdo con las metas propuestas en la Agenda CTMM



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

En lo referente al alcance de la Agenda CTMM, la figura 21 muestra que la mayoría de los directores e investigadores estuvieron de acuerdo con el alcance propuesto por los expertos y con el horizonte temporal de seis años; no obstante, quienes no están de acuerdo indican que el horizonte temporal debe ser mínimo de 10 años.

Figura 21. Valoración del grado de acuerdo con los alcances propuestos en la Agenda CTMM



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

3.1.4 Valoración de potenciadores e inhibidores

De los dieciocho elementos propuestos, trece fueron calificados por los directores encuestados como potenciadores y cinco como inhibidores, mientras los investigadores indicaron que catorce de los elementos correspondían a potenciadores y cuatro a

inhibidores. Se listan a continuación los trece potenciadores mejor valorados en las dos encuestas:

- Recurso humano
- Trabajo interdisciplinario
- Convenios de cooperación
- Alianzas con empresas
- Alianzas con otras entidades educativas
- Proyectos de investigación
- Mecanismos de difusión de resultados
- Movilidad y pasantías
- Articulación con el medio
- Políticas de mejora de la competitividad
- Sistema Nacional de Innovación
- Recursos instrumentales
- Recursos económicos

El grupo de investigadores considera un elemento más como potenciador: el sistema regional de innovación, con el 68,4% de las valoraciones realizadas, mientras que los directores de grupo sugieren que este actúa como inhibidor.

Los cuatro elementos restantes que coinciden como inhibidores en los dos grupos de encuestados son:

- Aspectos administrativos de la UN
- Ausencia de la definición de áreas estratégicas
- Aspectos jurídicos y logísticos para los procesos de registro de Propiedad Intelectual y Transferencia Tecnológica
- Ausencia de pregrado en Ciencia e Ingeniería de materiales

3.1.5 Valoración de las áreas temáticas

La valoración de las áreas temáticas del árbol de conocimiento (ver figura 13) que se describen en el segundo capítulo, señala que el área principal de investigación de los directores de grupo es la de tecnología e innovación de materiales, representada por el 54,5%; las áreas de fundamentos y ciencia de los materiales y de recursos naturales no renovables y medio ambiente están representadas por igual con el 22,7% cada una. Respecto a los investigadores, el 40,7% trabaja en recursos naturales no renovables y medio ambiente principalmente, el 39,5% en tecnología e innovación de materiales y el 19,8% en fundamentos y ciencia de los materiales.

El 75% de los directores indica que los temas del área de fundamentos y ciencia de los materiales tienen aplicaciones industriales, sociales y agroindustriales; mientras que para los investigadores hay un acuerdo de más del 80% respecto a aplicaciones industriales y agroindustriales, las aplicaciones sociales se perciben en menor medida. En el área de tecnología e innovación de materiales, el 100% de los directores indica que los temas de esta área tienen aplicación industrial, el 63% dice que tienen aplicaciones sociales y más del 70% opina que tienen aplicaciones agroindustriales; por su parte, más del 96% de los investigadores señala la aplicabilidad industrial, y más del 84% la aplicabilidad agroindustrial y social. Respecto al área de recursos naturales no renovables y medio ambiente, hay un acuerdo generalizado entre directores sobre las aplicaciones industriales y sociales, ambas con más del 75%, mientras que en las aplicaciones agroindustriales la proporción es de 50% para el grado de acuerdo y desacuerdo, respectivamente; el grupo de investigadores percibe una mayor aplicación industrial, casi del 100%, seguida de la aplicación social y agroindustrial, ambas con el 84% como mínimo para alguno de los temas.

Los directores de grupos de investigación que valoraron el área de fundamentos y ciencia de los materiales tienen un grado de acuerdo del 100% en que el tema de relación, estructura y propiedades aportará conocimientos esenciales para el desarrollo de la investigación, seguido de síntesis y procesos con el 80% y de fenómenos físicos y cuánticos con el 60%, respecto a este mismo ítem. Según los investigadores, el acuerdo respecto a si el tema aportará conocimientos esenciales es del 68,8% para relación, estructura y propiedades, del 66,7% para síntesis y procesos, y del 53,3% para fenómenos físicos y cuánticos.

En el área de tecnología e innovación de materiales, el 20% de los directores opina que el tema de materiales aportará conocimientos esenciales, mientras que el 60% expresa que muy probablemente sí aportará conocimientos. En el tema de nuevos materiales y en el de procesamiento de materiales el 72,7% y el 63,6%, respectivamente, opinan que estos temas sí aportarán conocimientos esenciales. Por su parte, el 46,4% de los investigadores afirma que el tema de materiales tradicionales sí aportará conocimientos esenciales, el 71,4% en nuevos materiales y el 65,4% en procesamiento de materiales.

En el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente, el mismo ítem de importancia sobre aporte en conocimientos tiene un grado de acuerdo del 60%, 80% y 50% para los temas de prospección, exploración y explotación de recursos; medio ambiente y sociedad; y beneficio y transformación de minerales, respectivamente, según la opinión de los directores. En lo que respecta al sentir de los investigadores, el grado de acuerdo para los mismos temas es del 56,3%, 57,6% y 31,3%, respectivamente.

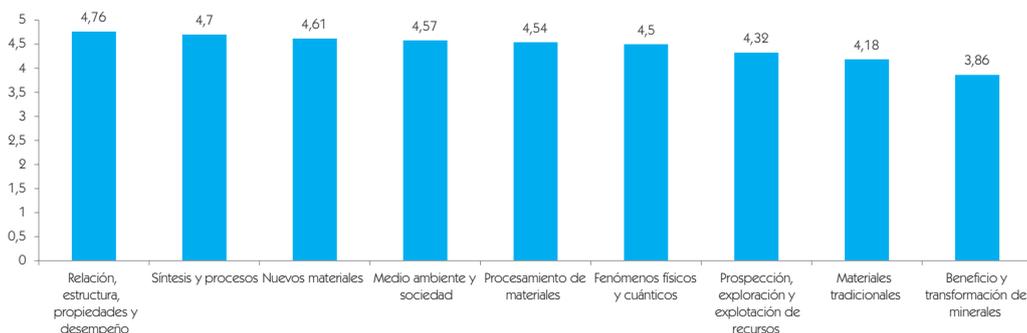
La capacidad de la UN para el desarrollo de la investigación en el área de fundamentos y ciencia de los materiales es considerada como alta por la mayoría de los directores de grupo en los temas de relación, estructura y propiedades; y de síntesis y procesos,

mientras que en el tema de fenómenos físicos y cuánticos el 100% opina que la capacidad es media. Respecto de estos tres temas, la mayoría de los investigadores opina que la capacidad es alta.

En el área de tecnología e innovación de materiales, para los tres temas que la conforman se cuenta con una capacidad para el desarrollo de la investigación de nivel medio, según la opinión mayoritaria de los directores y de los investigadores. Finalmente, para el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente, tanto el grupo de directores como el de investigadores señalan que la capacidad de la UN para el desarrollo de la investigación en los tres temas de esta área es medio.

Se detalla en la figura 22 el promedio de la importancia de investigación para cada tema, resaltando que todos ellos son considerados primordiales.

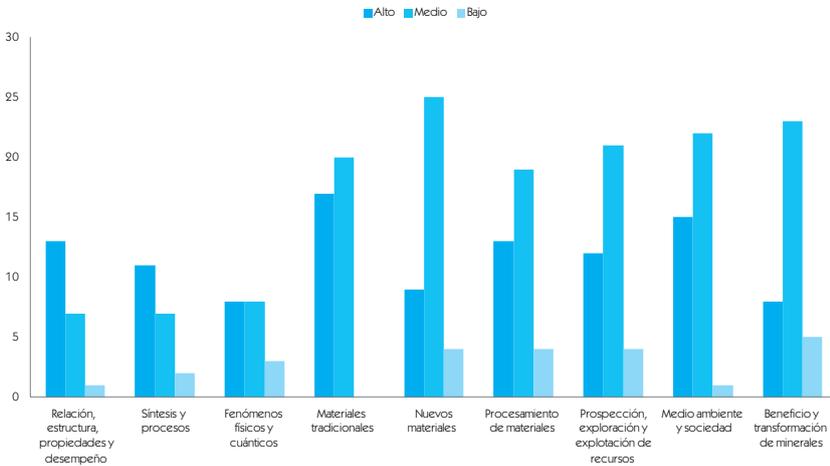
Figura 22. Promedio de importancia de investigación para el desarrollo de los temas



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

Así mismo, la figura 23 muestra el consolidado de las capacidades percibidas por los encuestados para el desarrollo de investigación en los nueve temas que se desprenden de las tres áreas, las valoraciones corresponden a los resultados de la encuesta de directores de grupos y de investigadores; así, por ejemplo, del total de personas que calificaron el tema de relación, estructura, propiedades y desempeño, la mayoría opina que la capacidad de la UN para desarrollar investigación en este tema es alta, así como en los dos temas restantes del área de fundamentos y ciencia de los materiales; en los demás temas se puede apreciar que la capacidad percibida es media.

Figura 23. Capacidades de la UN para desarrollar investigación en los temas de la Agenda CTMM



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

El tiempo en años en el cual los directores e investigadores sugieren que se materializarán los resultados de investigación y extensión para los temas del área de fundamentos y ciencia de los materiales está dado por un intervalo de seis a ocho años.

Para el área de tecnología e innovación de materiales, el tema de materiales tradicionales presenta un tiempo de materialización de tres a cinco años; los dos temas restantes del área se podrían materializar en un horizonte de seis a ocho años según la opinión mayoritaria de las dos poblaciones encuestadas. Para el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente, los temas de prospección, exploración y explotación de recursos, y de medio ambiente y sociedad se podrían materializar entre tres y cinco años, mientras que el tema de beneficio y transformación de minerales se podría materializar entre seis y ocho años.

En la tabla 12 se presenta el tiempo de materialización consolidado de los temas propuestos para las tres áreas de la agenda, siendo el rango de seis a ocho años la opción más votada para la mayoría de los temas.

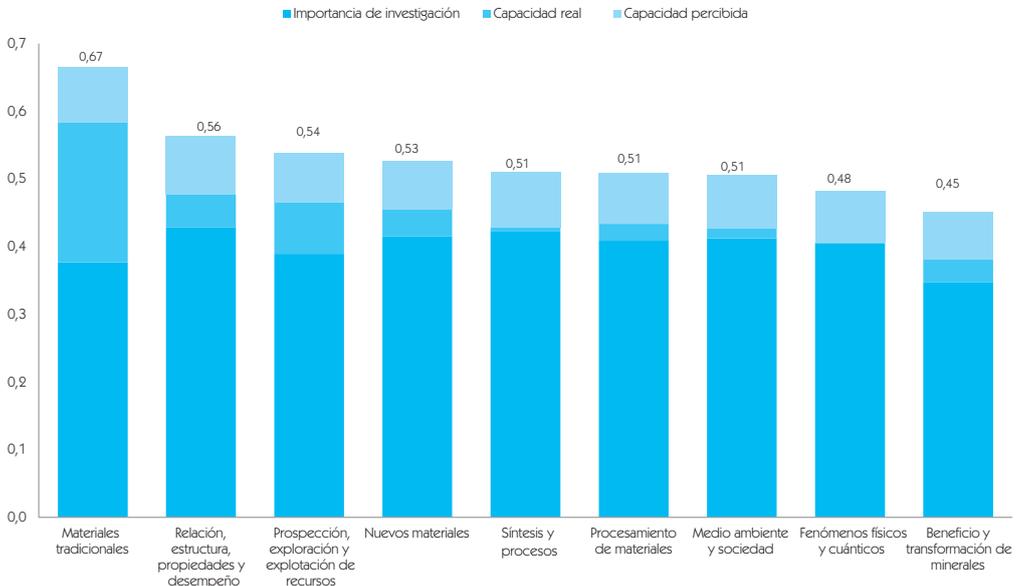
Tabla 12. Tiempo de materialización en años de los temas

Temas	1 a 2	3 a 5	6 a 8	Más de 8
Relación, estructura, propiedades y desempeño	3	9	8	1
Síntesis y procesos	4	7	8	2
Fenómenos físicos y cuánticos	0	6	10	5
Materiales tradicionales	14	17	6	2
Nuevos materiales	0	11	18	10
Procesamiento de materiales	1	15	16	5
Prospección, exploración y explotación de recursos	4	11	11	10
Medio ambiente y sociedad	5	13	11	8
Beneficio y transformación de minerales	4	8	11	11

Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

Finalmente se ha diseñado un índice que permite valorar los temas de las tres áreas de la Agenda CTMM teniendo en cuenta las capacidades reales, las capacidades percibidas en las encuestas prospectivas y la importancia de investigación percibida; de ellos se obtiene un único valor por tema. Para la construcción del índice se normalizaron los tres valores seleccionados y se les asignó un peso de 0,45 para importancia de investigación y capacidad real, mientras que para la capacidad percibida se asignó un peso de 0,1. En la figura 24 se presenta el índice y sus componentes donde los tres temas con un índice mayor es el de materiales tradicionales, seguido de relación, estructura, propiedades y desempeño; en tercer lugar está el tema de prospección, exploración y explotación.

Figura 24. Índice de importancia de investigación



Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales.

3.2 Resumen de las realimentaciones en las jornadas de discusión con la comunidad académica

La Agenda CTMM en la duración del proyecto realizó una jornada de discusión, la Gran Jornada de Socialización con la comunidad académica, que contó con conectividad de todas las sedes de la Universidad Nacional de Colombia y con tres salas paralelas por sistema de videoconferencia y webconferencia en las cuales se adelantaron diferentes programaciones por agenda. Cada presentación fue originada desde la sede de vinculación del profesor experto encargado de la explicación de los avances obtenidos a la fecha. Para el caso particular de la Agenda CTMM, la presentación se originó desde la sede Medellín el 16 de febrero de 2012 y contó con la presencia de 13 profesores en la sede Bogotá, dos en la sede Manizales y 11 en la sede Medellín, para una asistencia total de 26 profesores.

Los comentarios y preguntas recibidos en esta jornada estuvieron orientados principalmente hacia la propuesta de creación de un instituto de materiales de carácter nacional. Frente a esto, se puede decir de manera simplificada que “el Instituto podría ser nacional conformado por capítulos regionales autónomos, esto es, unidad de políticas y de reglamentación, pero autonomía de funcionamiento; más que asociar el Instituto a la existencia de un edificio, cada capítulo debe ponderar la existencia de

una comunidad de individuos y grupos, proyectos activos y laboratorios, entre otros insumos. Podría llegar a ser una marca de calidad por sus resultados y servicios” (Abad, 2012).

En adición a la propuesta de un instituto, uno de los docentes participantes propuso contar con un centro de documentación; al respecto se tienen las siguientes consideraciones: “La existencia de un instituto dentro de la Agenda CTMM no es incompatible con la creación de un centro de documentación, o la adscripción a otros centros con áreas de conocimiento afines, pues a lo que se quisiera llegar es a la generación de redes neuronales que optimicen los recursos y la información. El Acuerdo 11 de 2005 establece la figura de instituto para referirse a la unidad académico-administrativa cuya función principal es gestionar, coordinar y promover la actividad investigativa disciplinaria o interdisciplinaria, y que estos pueden ser de facultad, sede o nacional. En consideración a la naturaleza de sus funciones y a su cobertura, el Consejo Superior Universitario podrá organizar Institutos de Investigación Nacionales, con participación de las Facultades de las Sedes correspondientes” (Acuerdo CSU 11 de 2005, artículo 52).

El Acuerdo 11 no incluye reglamentación para la creación de los institutos. “El Estatuto General, Acuerdo 11 de 2005, señala como centro a la unidad académico-administrativa que gestiona, coordina y promueve la actividad de extensión, ya sea disciplinaria o interdisciplinaria. Estos pueden ser de facultad y de sede. Igualmente, el Acuerdo no incluye reglamentación para la creación de los centros. No obstante, casi en la generalidad de propuestas de centros o institutos se asume la doble misión en investigación y extensión” (Abad, 2012).

3.3 Proyectos propuestos por la comunidad académica

Para este apartado se tienen en cuenta los proyectos financiables por regalías que fueron formulados por las regiones y detallados en la tabla 3, la cual presenta proyectos que son considerados desde las áreas de la agenda. Adicionalmente, se lista una serie de posibles proyectos propuestos por los encuestados. Además de sugerir apoyo en la formulación de proyectos prioritarios con miras a la ejecución de dicha ley, conjuntamente con la inversión en la formación de alto nivel del capital humano en las regiones, proyectos que se pueden adelantar en un mediano o largo plazo, es importante aclarar que este es un listado abierto a manera de ejemplo; por tanto, los proyectos aquí mostrados son solo un registro de las propuestas expresadas por investigadores que dieron respuesta a la encuesta prospectiva.

En el área de fundamentos y ciencia de los materiales se podría ubicar el siguiente proyecto propuesto: modelación del comportamiento mecánico por elementos finitos. La tabla 13 presenta alfabéticamente 40 proyectos propuestos por los encuestados y

que los autores identificaron como pertenecientes al área de tecnología e innovación de materiales.

Tabla 13. Propuestas de proyectos y temas de investigación en el área de tecnología e innovación de materiales

Área	Proyectos
Tecnología e innovación de materiales	Acondicionamientos de tejido dentario humano
	Aprovechamiento de desechos sólidos en el mejoramiento o sustitución de materiales tradicionales
	Beneficio de minerales polimetálicos (diferentes depósitos en Colombia)
	Calidad superficial de prototipos de material elastómero
	Caracterización de materiales y biomateriales. Redes empresariales e innovación
	Caracterización fundamental de materiales térreos para uso en ingeniería. Investigación en materiales durables para la construcción. Simulaciones del comportamiento de materiales térreos bajo diferentes condiciones ambientales. Efectos del cambio climático global en materiales térreos para construcción. Investigaciones para disminuir los impactos de la producción de materiales para construcción sobre el medio ambiente
	Desagregación tecnológica de materiales
	Desarrollo de biomateriales para áreas industrial y agrícola a partir de microorganismos, biorremediación con microorganismos
	Desarrollo de materiales cerámicos con propiedades termoeléctricas.
	Desarrollo de materiales compuestos utilizando fibras naturales como refuerzo.
	Desarrollo de nuevos materiales de tipo biopolimérico para aplicaciones en el campo de la salud, formulación y producción de medicamentos y productos cosméticos
	Desarrollo y estandarización de ingredientes naturales para las industrias farmacéutica, cosmética y de alimentos y de los procedimientos asociados (biomateriales)
	Diseño y caracterización de modelos celulares <i>in vitro</i> e <i>in silico</i>
	Disminución de sorción acuosa de materiales poliméricos de uso en cavidad oral
	Durabilidad de materiales de construcción
Estudio de beneficio de minerales polimetálicos, subproducto de la minería aurífera	

Continuación Tabla 13. Propuestas de proyectos y temas de investigación en el área de tecnología e innovación de materiales

Área	Proyectos
Tecnología e innovación de materiales	Estudio de integridad y calidad partes maquinadas en aleaciones de titanio
	Estudio de la preservación del color natural exterior de la guadua angustifolia Kunth, lo cual permitirá incrementar la comercialización en procesos artesanales y arquitectónicos
	Estudio de metamateriales y diseño de dispositivos optoelectrónicos
	Estudios de biocompatibilidad, de aplicación <i>ex-vivo</i> y clínicos materiales odontológicos
	Evaluación de inhibidores químicos y biológicos de óxido nitroso
	Evaluación elástico-plástica de piezas en servicios
	Generación de equivalentes de tejidos (piel, cartilago, hueso)
	Innovación en materiales cementicios en la construcción
	Manejo de la contracción de polimerización de resinas compuestas
	Materiales compuestos en estructuras civiles, incluyendo aquellos de origen natural como la madera y el bambú
	Modificación de sustancias adhesivas para mejorar la resistencia de unión de resinas compuestas
	Nanocompuestos poliméricos
	Nanotecnología en el sector productivo hortícola nacional
	Nuevos catalizadores de polimerización de olefinas
	Nuevos materiales de interés en petroquímica
	Nuevos materiales para producción de injertos libres de patógenos
	Polímeros de uso odontológico
	Printing en 3D
	Proyectos dirigidos al aprovechamiento de los residuos industriales. Será importante formar alianzas con empresas de tal manera que los resultados de investigación sean aplicados en el corto plazo
	Purificación de metales mediante el sistema de carbonilos
	Simulación del comportamiento de materiales de construcción
	Técnicas de caracterización aplicadas a los materiales de construcción
	Tratamientos superficiales de aleaciones y cerámicas de uso odontológico
Utilización infraestructura para aplicar la tecnología e innovación de materiales en el desarrollo tecnológico y social.	

Fuente: Encuesta prospectiva de la Agenda CTMM.

La tabla 14 presenta los 23 proyectos propuestos por los encuestados y que los autores identificaron en el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente.

Tabla 14. Propuestas de proyectos y temas de investigación en el área de recursos naturales no renovables y medio ambiente

Área	Proyectos
Recursos naturales no renovables y medio ambiente	Afectación regional de los recursos hídricos debido a la explotación de yacimientos minerales
	Avales ambientales
	Carbonatos y medio ambiente, aplicado a la conservación de ambientes subterráneos
	Cuantificación de emisiones y capturas de gases de efecto invernadero
	Efectos de degradación de suelos y aguas por prácticas de minería a nivel de cuencas hidrográficas
	Estudio de arenas negras subproducto de la minería aurífera
	Estudio e implementación de nuevas alternativas, tendientes a la recuperación del denominado oro refractario.
	Estudio y recuperación de oro libre, en colas subproducto de la minería imprevisiva en toda Colombia
	Evaluación e impactos regionales de la contaminación por extracción masiva de carbón y otros minerales
	Gran minería y medio ambiente
	Impacto de la explotación de los recursos naturales no renovables en el ambiente
	Impactos ambientales generados por prácticas de minería en cuencas hidrográficas
	Instrumentación y monitoreo de explotaciones mineras.
	Investigación básica en producción de hidrógeno
	Mecánica de rocas aplicada a la minería
	Medidas de mitigación de metano entérico
	Medidas de mitigación y prácticas integrales participativas de manejo y conservación de suelos y aguas en áreas de explotación minera en cuencas hidrográficas
	Modelación constitutiva geo-termo-hidro-químico-mecánico de geomateriales, en particular rocas lodosas de América
	Necesidad e impacto del transporte en la competitividad de los minerales y materiales
	Predicción de fallas
Programa nacional de identificación, prospección y desarrollo de aplicaciones diversas de minerales no metálicos	
Programa nacional de identificación, prospectiva y valorización de fuentes energéticas a partir de desechos industriales y domésticos	
Recuperación termoeléctrica del calor residual	

Fuente: Encuesta prospectiva de la Agenda Ciencia y Tecnología de Materiales y Minerales.

BIBLIOGRAFÍA

Abad, P. (2012). Comentarios ante preguntas e inquietudes en la Gran Jornada de Socialización. 4 de febrero de 2012. Bogotá.

Adams, J. & Pendlebury, D. (2011). *Global research report Materials Science and Technology* (No. 1-904431-29-1) (pp. 1-16). United Kingdom: Thomson Reuters. Disponible en <http://www.icmm.csic.es/eng/news/grr-materialscience.pdf>

AFPA. (2010). *Forest products Industry Technology Roadmap*. Institute of Paper Science & Technology Georgia Institute of Technology, Agenda 2020 Technology Alliance, American Forest & Paper Association and U.S. Department of Energy. Disponible en <http://www.agenda2020.org/PDF/ForestProductsIndustryTechRM-043010.pdf>

Apelian, D. (2007). Looking beyond the last 50 years: the Future of Materials science and engineering. *JOM Journal of The Minerals, Metals and Materials Society* - TMS, 65-73. Disponible en http://www.wpi.edu/Images/CMS/News/Apelian_JOM.pdf

Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2006). *The science and engineering of materials* (fifth ed.). Estados Unidos: Thomson. Disponible en http://books.google.com.co/books?id=fRbZsIUtpBYC&pg=PA286&lpg=PA286&dq=definition+metals+askeland&source=bl&ots=wN3Ti9aRfl&sig=cGefx1x7I30dpJgbMIkiwlgz3lw&hl=es&ei=yykSTe-Z-E8H78Ab1peGMDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBYQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

Atalla, R., Beecher, J., Caron, R., Catchmark, J., Deng, Y., Glasser, W., Gray, D. *et al.* (n.d.). *Nanotechnology in the forest products industry* - Vision and technology roadmap. Disponible en http://lpst.gatech.edu/faculty/ragauskas_art/technical_reviews/fp_nanotechnology.pdf

Azonano.com. (2007). *Bayer says Materials Science Future is Nanotechnology and BayTubes*. Disponible en <http://www.azonano.com/news.aspx?newsID=3798>

Barry, C., & Grant, N. (2007). *Ceramic Materials Science and Engineering*. Springer. Disponible en http://books.google.com.co/books?id=aE_VQ8I24OoC&pg=PA713&lpg=PA713&dq=KINGERY+1976+ceramic&source=bl&ots=RCEZ3wdzWp&sig=26ETjgkRS2R_HL5EgwMCsENg8w&hl=es&ei=O6wXTZmBCcOBIAfT0mYDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CD0Q6AEwBA#v=onepage&q=KINGERY%201976%20ceramic&f=false

Bonilla, E., Lizarazo, P. (2012). Agendas de conocimiento: un diálogo permanente con la sociedad. En: VRI, Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Sánchez-Vargas, A. (Eds.). *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Brijalbo, M. y Campos, D. (2001). Investigación en la Universidad Nacional 1990-1999. Una década de aciertos, inciertos y desconciertos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

CCAS, IEEE & CSC. (2009a). *Superconductivity Present and Future Applications*. Disponible en http://www.ccas-web.org/pdf/ccas_brochure_web.pdf

CCAS, IEEE & CSC. (2009b). *Superconductivity Present and Future Applications*. Disponible en http://www.ccas-web.org/pdf/ccas_brochure_web.pdf

CENM. (2007). *Centro de Excelencia en Nuevos Materiales. Informe dos años de actividades período julio de 2005 a mayo de 2007*. Disponible en <http://calima.univalle.edu.co/cenm/documents/Informe%20CENM%202%20a%20C3%B1os%20.pdf>

Centro de Investigación sobre Sociedad del Conocimiento, CIC. (2003). *Modelo Intellectus: Medición y Gestión del Capital Intelectual*. Madrid: IADE-CIC.

Cielap. (2009). *Cielap Brief on Nanotechnology and Metals. Advancing Environmental Agenda* (p. 4). Toronto, Canada: Canadian Institute for Environmental Law And Policy. Disponible en http://www.cielap.org/pdf/Brief_NanoMetals.pdf

Cimtan. (2009). *Boletín vigilancia tecnológica en hormigón*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en <http://www.madrimasd.org/cimtan/BoletinesVT/Materiales/default.aspx>

Cofisa. (2009). *Biotechnology trends analysis*. Disponible en <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2F>

Colciencias. (2005). *Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad* (ISBN 958-8130-90-5) (p. 122). Colombia: Colciencias.

Colciencias. (2011a). *Investigaciones en energía y minería*. Disponible en http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/investigaciones-en-energ-y-miner

Colciencias. (2011b). Discusiones sobre temas prioritarios en las regiones colombianas. Documento en elaboración y mimeo.

Colciencias. (2011c). *GrupLAC en línea*. Disponible en <http://201.234.78.173:8080/gruplac/>

Colombia, Ministerio del Interior y de Justicia, Grupo de Consulta Previa. (2009). *Consulta Previa*. República de Colombia. Disponible en http://www.acp.com.co/assets/documents/Asuntos%20Publicos/Gestion%20Social/talleres/consulta_previa_mininterior2009.pdf

Correa, C. M. (2007). Tendencias de la gerencia y entorno económico. *El Cuaderno Ciencias Estratégicas*, 1(1), 39-52.

De Castro, A. M. G., Lima, S. M. V. y Cristo, C. M. P. N. (2002). *Cadeia produtiva: marco conceitual para apoiar a prospecção tecnológica*. Presented at the XXII Simpósio de gestão da inovação tecnológica, Brasil. Disponible en http://www.pze.mdic.gov.br/portalmDIC/arquivos/dwnl_1197031881.pdf

Department of Minerals and Energy of South Africa. (2005). *Foresight Mining and Metallurgy Report*.

Dexia. (2010). Mining and green technology. *An oxymoron? Is the future of metals green?* Disponible en http://sri.dexia-am.com/LibrarySRI/SUMMARY_EN.pdf

DNP. (2005). *Visión Colombia II centenario: 2019*. Propuesta para discusión.

DNP. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo. Estado Comunitario: desarrollo para todos*. Tomo I. Departamento Nacional de Planeación. Disponible en <http://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=W5gQTUkodjQ%3d&tabid=65>

DNP. (2011a). *Bases del Plan de Desarrollo 2010-2014. Prosperidad para todos*. Disponible en <http://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=mXt-R20LpjA%3d&tabid=1238>

DNP. (2011b). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Dirección Nacional de Planeación*. Disponible en <http://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=4-J9V-FE2pl%3D&tabid=1238>

Dobrzaska-Danikiewicz, A. (2009). Main assumptions of the foresight of surface properties formation leading technologies of engineering materials and biomaterials. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 34 (2), 165-171.

Dobrzaski, L. A., Hetmaczyk, M., & Tgiewka, E. (2010). Current state and development perspectives of Materials Science and Engineering in Poland. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43(2), 782-789.

Duque, C., Brijaldo, M. y Molina, R. (2001). *Programas estratégicos: un reto institucional para la Universidad Nacional en el siglo XXI*. Bogotá: TM editores e impresores Ltda.

Entezami, A. A., & Massoumi, B. (2006). Artificial muscles, biosensors and drug delivery systems based on conducting polymers: a review. *Iranian Polymer Journal*, 15 (1), 13-20.

ETP SMR. (2009). *Strategic Research Agenda Revision 3. European Technology Platform on Sustainable Mineral Resources*. Disponible en <http://www.certh.gr/dat/CF8D9E6E/file.pdf>

Finley, J. (2007). *The Glass industry to Global Megatrends: A Fusion of Macro-, Micro-, and Nano-Technologies for Next Generation Products*. PPG Glass Technology Center, PPG Industries. Disponible en <http://best1.thebestconference.org/pdfs/032.pdf>

Forest Based Sector. (2006). *A strategic research agenda for innovation, competitiveness and quality of life. Forest Based Sector Technology Platform*. Disponible en http://www.forestplatform.org/easydata/customers/ftp/files/pdf/SRA_FTP_Final.pdf

Franks, D. M., Boger, D. V., Côte, C. M., & Mulligan, D. R. (2011). Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy*, 36, 114-122.

Grupo de expertos, agenda CTMM. (2012). Segunda Convención Nacional de Agendas de Conocimiento.

Gutfleisch, O., Willard, M., Brück, E., Chen, C., Sankar, S. G., & Liu, P. (2011). Magnetic materials and devices for the 21st century: stronger, lighter, and more energy efficient. *Advanced Materials*, 23, 821-842. doi:10.1002/adma.201002180

Harlin, A. (2010). *Industrial Biomaterials Research Highlights* (p. 74). Finlandia: VTT. Disponible en http://www.vtt.fi/files/download/scientific_reports/IndBioMat_2011_www.pdf

Hartman, H. L. (1992). *SME mining engineering handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*. Disponible en <http://books.google.com.co/books?id=Wm6QMRaX9C4C&printsec=frontcover&dq=SME+mining+engineering+handbook&hl=es-419&sa=X&ei=TABhT8XAlIHjgsfg6MWhCA&ved=0CCOQ6AEwAA#v=onepage&q=SME%20mining%20engineering%20handbook&f=false>

Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., & Gorga, R. (2006). Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing and application: an overview. *Journal of Composite Materials*, 40(17). doi:10.1177/0021998306067321

IDEA. (1991). *Proyección y perspectivas*. Disponible en http://www.idea.unal.edu.co/quien_somos/q_proyeccion.htm

IEA., & WBCSD. (2009). *Cement Technology Roadmap 2009 (Roadmap)*. International Energy Agency. Disponible en http://www.wbcsd.org/DocRoot/mka1EKor6mqLVb9w903o/WBCSD-IEA_CementRoadmap.pdf

International Copper Association. (2011). *Copper Applications Technology Roadmap*. Disponible en http://www.cop-perinfo.com/technology/pdf/technology_roadmap.pdf

ITRS. (2009). *International Technology Roadmap for Semiconductors-Emerging Research Materials (Roadmap)*. Disponible en http://www.itrs.net/Links/2009ITRS/2009Chapters_2009Tables/2009_ERM.pdf

Kanama, D. (2007). EU Nanoroadmap: Issues and Outlook for Technology Roadmaps in the Nanotechnology Field. *Quarterly Review*, 23, 55-64.

Kikuchi, M., & Kanama, D. (2007). Current Status of Biomaterial Research Focused on Regenerative Medicine. *Quarterly Review*, 24, 51-67.

- Kües, U. (2007). *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*. Universitätsverlag Göttingen.
- Lee, S., & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(5), 567-583. doi:10.1016/j.techfore.2004.11.006
- Lee-Müller, S.-L., Pechmann, A., Sajalik, P., & Schumacher, G. (2007). *SMART Perspectives of European Materials Research* (p. 4). Germany: European Foresight Monitoring Network. Disponible en http://www.foresight-network.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=296
- Lilly, P. (n.d.). *The Future Mine: Trends and advances in technology*. Disponible en <http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00000927.pdf>
- Lin, P. B. (2007). *Ceramic Materials Research Trends*. NOVA Publishers. Disponible en https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5778
- Lizarazo, P. (2011). *Síntesis a partir de una visión sobre planes de desarrollo y políticas públicas regionales y nacionales*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad Nacional de Colombia.
- Lu, K., Chen, L., He, T., & Yan, Q. (Eds.). (2010). *Advanced Materials Science & Technology in China: A Roadmap to 2050*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Disponible en <http://www.springerlink.com.ezproxy.lib.ucf.edu/content/u0nw76/#section=748834&page=1&locus=0>
- Majumder, D. D., Ulrichs, C., Majumder, D., Mewis, I., Thakur, A. R., Brahmachary, R. L., Banerjee, R. et al. (2007). Current Status and Future Trends of Nanoscale Technology and Its Impact on Modern Computing, Biology, Medicine and Agricultural Biotechnology. *Proceedings of the International Conference on Computing: Theory and Applications* (pp. 563-573). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. doi:10.1109/ICCTA.2007.46
- Merging Optics y Nanotechnologies, MONA. (2008). *A European roadmap for photonics and nanotechnologies* (p. 162). Merging Optics & Nanotechnologies Consortium. Disponible en http://www.ist-mona.org/pdf/MONA_v15_190308.pdf
- Mijangos, C. y Moya, J. (2007). *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI*. Madrid: CSIC. Disponible en <http://www.icmm.csic.es/divulgacion/materiales.pdf>
- Ministry of Research, Science and Technology. (2007). *Roadmaps for Science: environment research*. Nueva Zelanda.
- Molina, R., Sánchez-Torres, J. M. y Sánchez-Vargas, A. (Eds.). (2012). *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. En prensa.
- Mott MacDonald. (2010). *Global Technology Roadmap for CCS in Industry*. Disponible en http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publication_20100802_sector-assess-cement_0.pdf
- MRS. (2010). *Advanced Materials for Our Energy Future*. Materials Research Society. Disponible en http://www.aist.org/education/AdvMatls_for_Energy.pdf
- NASA. (2010). *Draft Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing Roadmap*. Disponible en http://www.nasa.gov/pdf/501625main_TA12-MSMSM-DRAFT-Nov2010-A.pdf
- National Petroleum Council. (2006). *Oil and Gas Technology Development*. Disponible en http://downloadcenter.connective.com/events/npc071807/pdf-downloads/Study_Topic_Papers/26-TTG-OGTechDevelopment.pdf
- National Technical Working Group. (2009). *Report of the Vision 2020*. National Technical Working Group on Minerals & Metals Development.
- NIMS. (2007). *A Vision of Materials Science in the Year 2020*. Japan: National Institute for Materials Science. Disponible en <http://www.nims.go.jp/eng/publicity/publication/Mk3rak000000fakt-att/nims2020.pdf>

NMA. (1998). *The future begins with mining*. National Mining Association. Disponible en http://campus.mst.edu/iac/iof/industries/MINING/mining_vision.pdf

NRSC- Catalysis. (2009). *Future perspectives in Catalysis*. Dutch National Research School Combination. Disponible en http://www.nrsc-catalysis.nl/files/media/scientific_reports/Future_perspectives_in_Catalysis.pdf

Office of Science & Innovation. (2006). *Science & technology cluster overview of key trends up to 2015-2020 (Overview)*. Department for Business Innovation & Skill. Disponible en http://www.bis.gov.uk/assets/bispartners/foresight/docs/horizon-scanning-centre/s_t_clusters__advanced_materials_and_roboticsdoc_v01_12_06.pdf

Parliamentary Office of Science and Technology. (2008). Smart Materials and Systems. *Postnote* 299, 1-4.

Pécheux, H. (1928). *Manual de metalurgia: electrometalurgia y termometalurgia*. España: José Montesó.

Poveda, A., Abad, P., Franky, J., Hurtado, R., Castaño, G., Echavarría, J. y Castiblanco, J. (2012). Escenarios y redes para las Agendas de Conocimiento. En: VRI, Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Sánchez-Vargas, A. (Eds.). *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del Conocimiento, la creación artística y la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Powell, C. A., & Morreale, B. D. (2008). Materials Challenges in Advanced Coal Conversion Technologies. *MRS Bulletin*, 33, 309-315.

Price Water House Coopers. (2009). *A change of pace for the semiconductor industry?* Disponible en http://www.pwc.com/en_GX/gx/technology/pdf/change-of-pace-in-the-semiconductor-industry.pdf

Probert, D., & Radnor, M. (2003). Technology roadmapping. *Research Technology Management*, 46(2), 27.

Proyecto Meritum. (2002). *Guidelines for managing and reporting on intangibles (Intellectual Capital Statements)*. Madrid: Fundación Vodafone.

Raj, B., & Sankara, K. B. (2005). Materials Research: Current Scenario and Future Projections. *Current Science*, 89(4), 702-704.

Remy, F. (2003). *Mining Reform and the World Bank: providing a policy framework for development*. *Mining and Development*. World Bank and International Finance Corporation. Disponible en <http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/miningreformandtheworldbank.pdf>

Rincón, J. y Romero, M. (n.d.). *Materiales cerámicos en sistemas constructivos de la edificación*. Disponible en http://digital.csic.es/bitstream/10261/6312/1/IJIC_Rincon.pdf

Rödel, J., Kouna, A. B. N., Weissenberger-Eibl, M., Koch, D., Bierwisch, A., Rossner, W., Hoffmann, M. J. et al. (2009). Development of a roadmap for advanced ceramics: 2010–2025. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1549-1560. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2008.10.015

Roos, J., Roos, G., Edvinsson, L., & Dragonetti, N. (1997). *Intellectual capital: Navigating in the new business landscape*. New York: New York University Press.

Rodríguez, J. M. (1999). Informe PUI de Energía. *Seminario Investigaciones en Red*. Lugar de los PUI dentro del contexto actual de la investigación – UN – PUI Bogotá.

Rowe, G., & Wright, G. (2011). The Delphi technique: Past, present, and future prospects — Introduction to the special issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1487-1490. doi:10.1016/j.techfore.2011.09.002

Sánchez-Torres, J. M., Sánchez-Vargas, A., Rodríguez, C., Robledo, J., Tamayo, J., Aguilar, J. y Molano, J. (2012). Metodología para la construcción de las Agendas de Conocimiento. En: VRI, Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Sánchez-Vargas,

A. (Eds.). *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

SNIES. (2011). *Sistemas de información*. Disponible en <http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-propertyname-2672.html>

Sogaard Jorgensen, M., Much Andersen, M., Hansen, A., Wensel, H., Thoning Pedersen, T., Jorgensen, U., Falch, M. *et al.* (2006). *Green Technology Foresight about Environmentally Friendly Products and Materials. The Challenges from Nanotechnology, Biotechnology and ICT*. Danish Ministry of the Environment. Disponible en <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2006/87-7052-216-2/pdf/87-7052-217-0.pdf>

Su, H.-N., & Lee, P.-C. (2008). *Future perspectives on nanotechnology/material development: Delphi studies and Sci-Tech policies in Japan, Mainland China and Taiwan* (pp. 2266-2272). China: IEEE. doi:10.1109/PICMET.2008.4599849

Sveiby, K. E. (2001). A knowledge-based theory of the firm to guide in strategy formulation. *Journal of Intellectual Capital*, 2(4), 344-358.

Technische Universiteit Eindhoven - University of Technology. (n.d.). *Focus on polymer science and technology*. Disponible en http://www.epl.nu/AnnualReports/TUE_BR_polymers_WT.pdf

The European Foresight Monitoring Network, Armbruster, H., Dreher, C., & Jung-Erceg, P. (2006). *European Manufacturing Visions Man Vis 2020*, 4.

U.S. Department of Energy. (2011). *Innovative Exploration Technologies*. Technology Needs Assessment.

Unidad de Planeación Minero Energética: Subdirección de Planeación Minera. (2006). *Colombia País Minero: Plan Nacional para el Desarrollo Minero Visión al año 2019*.

Universidad Nacional de Colombia. (1998). UN compromiso académico y social con la nación colombiana: Plan global de desarrollo Universidad Nacional de Colombia 1999 - 2003. Universidad Nacional de Colombia.

Universidad Nacional de Colombia. (1999a). *División de Investigación Sede Bogotá*. Zalamea, F. *Guía para la Consolidación de un Sistema de Excelencia en Investigación. Espacio abierto*.

Universidad Nacional de Colombia. (1999b). *Un compromiso académico y social con la nación colombiana: Plan Global de Desarrollo Universidad Nacional de Colombia 1999-2003*. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://www.unalmed.edu.co/~planea/documentos/PlanGlobal1999-2003.pdf>

Universidad Nacional de Colombia. (2006a). *Plan Global de Desarrollo Universidad Nacional de Colombia 2007-2009. Universidad Nacional de Colombia*. Disponible en http://www.plandesarrollo.unal.edu.co/DOC_PLAN_DESARROLLO_2007_2009.pdf

Universidad Nacional de Colombia. (2006b). *Doctorados e investigación: tendencias, perspectivas y lineamientos estratégicos en la Universidad Nacional de Colombia*. Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia. Disponible en http://www.plandesarrollo.unal.edu.co/Libroinvestigacion_2006.pdf

Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Plan Global de Desarrollo Universidad Nacional de Colombia 2007 - 2009. "Por una Universidad moderna, abierta y participativa"*. Bogotá.

UPME. (2006). *Plan Nacional para el Desarrollo Minero Visión al año 2019*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética. Ministerio de Minas y Energía.

Upstill, G., & Hall, P. (2006). Innovation in the minerals industry: Australia in a global context. *Resources Policy*, 31 (3), 137-145. doi:10.1016/j.resourpol.2006.12.002

- USDOE. (2006). *FreedomCAR and Fuel Partnership Materials Technology Roadmap (Roadmap)*. Disponible en http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/materials_team_technical_roadmap.pdf
- VRI. (2006). *Doctorados e investigación: tendencias, perspectivas y lineamientos estratégicos en la Universidad Nacional de Colombia*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad Nacional de Colombia.
- VRI. Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Landinez, L., Rivera, S. y Gómez, A. (2009a). *Capacidades de investigación de la Universidad Nacional de Colombia 2000-2008. Una aproximación desde el capital intelectual*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- VRI. (2009b). *Plan Global de Desarrollo 2010-2012*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad Nacional de Colombia.
- VRI. Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Gómez, A., Castellanos, H., Morales, C., Moreno, S., González, H. y Luengas, C. (2010a). *Capacidades de investigación de la Universidad Nacional de Colombia 2000-2009. Una aproximación desde el capital intelectual*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- VRI. (2010b). *Programa: Prospectiva UN Agendas de Conocimiento Etapa 1: Socialización del proyecto a la comunidad académica*. Mayo de 2010. Disponible en http://www.viceinvestigacion.unal.edu.co/VRI/files/vri-agendas_de_conocimiento_socializacion_31052010.pdf
- VRI. (2010c). *Programa: Prospectiva UN Agendas de Conocimiento UN. Avances a 31 de diciembre de 2010*. Disponible en <http://www.viceinvestigacion.unal.edu.co/VRI/files/Proyectos/Avances%20en%20ejecuci%C3%B3n%20Proyecto%20Agendas%202010.pdf>
- VRI. (2011). *Formas de organización para la investigación, creación artística, extensión e innovación*. Documento en discusión. Vicerrectoría de Investigación, VRI. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C. (Colombia).
- VRI. (2011a). *Agendas de Conocimiento – Avances. Septiembre*. Disponible en: http://www.viceinvestigacion.unal.edu.co/VRI/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=141
- VRI. Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Morales, C., Moreno, S., González, H. y Luengas, C. (2011b). *Capacidades de investigación de la Universidad Nacional de Colombia 2000-2010. Una aproximación desde el capital intelectual*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- VRI. Molina, R., Sánchez-Torres, J. M. y Sánchez-Vargas, A. (Eds.). (2012). *Agendas de Conocimiento: metodología para su construcción colectiva. Hacia un sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (en prensa).
- Wasserman, M. (2010). Entre lo pertinente y lo impertinente. En: *El Tiempo*, domingo 19 de septiembre de 2010.
- Widepr.com. (2011). *David Morgan shares insight on strategic metals outlook*. Widepr.com. Disponible en http://www.widepr.com/pdf/press_release/12998/david_morgan_shares_insight_on_strategic_metals_outlook.pdf
- Williams, C., & Hillmyer, M. (2008). Polymers from Renewable Resources: A Perspective for a Special Issue of Polymer Reviews. *Polymer Reviews*, 48(1). doi:10.1080/15583720701834133
- WMC. (2008). *Advanced wood processing skills and technology roadmap*. Wood Manufacturing Council. Disponible en <http://www.wmc-cfb.ca/pdfs/advanced-wood-processing-skills-technology-roadmap.pdf>
- World Economic Forum. (2010). *Mining and metals scenarios. Presented at the World Economic Forum Australian Workshop, Melbourne, Australia*. Disponible en <http://www.csiro.au/files/files/pzrm.pdf>
- Zheludev, N. I. (2011). A Roadmap for Metamaterials. *Optics and Photonics News*, 22(3), 30-35. doi:10.1364/OPN.22.3.000030

ANEXOS

Anexo 1. Metodología para la construcción de las agendas de conocimiento

En la construcción colectiva y participativa de las agendas de conocimiento se ha respetado tanto la heterogeneidad como la diversidad de las temáticas y los expertos. No obstante, se establecieron algunos elementos mínimos que resultan comunes para todas las agendas, los cuales se elaboraron por parte de cada equipo facilitador y grupo de expertos de manera diferente, según la naturaleza y las dinámicas propias de las mismas. Estos elementos, tales como identificación de capacidades, los árboles de conocimiento, entre otros, fueron construidos durante las etapas pre-prospectiva y prospectiva, las cuales se describen en el presente anexo.

Es oportuno señalar que los aspectos relacionados con la pos-prospectiva, en particular la conceptualización del “Sistema institucional de pensamiento y gestión permanente del conocimiento, la creación artística y la innovación” de la Universidad Nacional de Colombia, serán abordados en VRI. Molina, Sánchez-Torres, Sánchez-Vargas (2012), de carácter conceptual, que la VRI publicará como parte de los documentos de reflexión originados a partir del proceso de elaboración de las agendas de conocimiento.

Este anexo metodológico se presenta con la misma estructura del presente documento, por lo cual inicia con el procedimiento para la construcción de la situación de la investigación en varios contextos, y en segundo lugar se precisa el camino seguido para la consolidación de la visión de futuro. Adicional a lo anterior, se resalta que este anexo metodológico se constituye en un resumen ejecutivo y primera versión del libro metodológico originado en el Proyecto Agendas de Conocimiento.

Un elemento esencial en el que se debe insistir es en que todos los insumos elaborados durante el proceso de construcción de las agendas de conocimiento fueron sometidos

a procesos de validación permanente por parte de los expertos de la Agenda CTMM, pues son quienes cuentan con el conocimiento, la experiencia y el reconocimiento para emitir opiniones idóneas frente a los contenidos de los mismos. Por ende, durante todo el proceso y para cada uno se realizó la deconstrucción de los documentos elaborados por cada equipo facilitador.

Este proceso hizo referencia a la validación, corrección, introducción o eliminación de nuevos asuntos de los insumos, siempre con el objetivo de mejorarlos y garantizar una línea de trabajo abierta e incluyente.

1. Consideraciones para la elaboración del panorama de investigación

En primera instancia, es preciso mencionar que el logro de objetivos propuestos en el Plan de Trabajo del Proyecto Agendas de Conocimiento (VRI, 2010c) se concibió a través de una visión sistémica de la actividad investigativa por parte de la comunidad académica. Por ello, para la construcción de las agendas se estableció que era necesario considerar siete insumos que se esquematizan en la figura 1 del documento, algunos de los cuales son parte integral de la construcción del panorama de la investigación.

Así pues, el panorama de la investigación corresponde a un conjunto de elementos con los cuales se estableció el estado de la investigación en los temas de una agenda de conocimiento particular. Este diagnóstico, como se ha establecido en algunas agendas, comprende cuatro insumos, así: i) el contexto internacional a través de las tendencias futuras de investigación; ii) las capacidades de investigación en el entorno nacional y en el contexto de la Universidad Nacional de Colombia; iii) las apuestas gubernamentales en la última década a partir del análisis de los planes de desarrollo, y iv) las formas de interacción a través de escenarios modernos de acción.

Estos dos últimos insumos serán objeto de mayor análisis en el documento de reflexión que la VRI publicará como fruto de la elaboración de las agendas de conocimiento; sin embargo, en este anexo se menciona la forma como se integró por parte de los equipos a cada agenda.

Los cinco insumos señalados se elaboraron en la fase denominada en el Plan de Trabajo del Proyecto Agendas de Conocimiento (VRI, 2009a) como fase pre-prospectiva, y cuyo proceso metodológico se describe en Sánchez-Torres, J. M., Sánchez-Vargas, A., Rodríguez, C., Robledo, J., Tamayo, J., Aguilar, J. y Molano, J. (2012).

2. Apuestas gubernamentales en la última década

Como se mencionó, los detalles metodológicos de este componente se abordaron en Bonilla, E. y Lizarazo, P. (2012) relacionado con las herramientas y métodos generales implementados para la construcción de las agendas de conocimiento; sin embargo, se puede mencionar que esta sección incluye elementos del trabajo liderado por la Dirección Nacional de Extensión, DNE, el cual pretendió vincular la investigación de la Universidad con la realidad del contexto nacional y, en particular, con los instrumentos de planeación de los gobiernos en los ámbitos local, regional y nacional. Además, se analizaron e incluyeron documentos de política del orden nacional, como los planes de desarrollo, identificando aquellos temas relevantes que potenciaran la investigación de cada agenda.

Con base en el documento mencionado, los expertos de cada agenda discutieron y eligieron los elementos más relevantes de cada plan de desarrollo coincidente con los temas del árbol de conocimiento.

3. Esfuerzos institucionales en la definición de agendas de investigación

Esta sección recopiló, a partir de la búsqueda de información secundaria, los esfuerzos realizados por la Universidad Nacional de Colombia por organizar los procesos de investigación así como su priorización, y se resaltan aquellos puntos coincidentes con las áreas, temas o subtemas de cada una de las agendas de conocimiento; este insumo implicó el estudio de la información existente relacionada con los Programas Universitarios de Investigación, PUI (1990-1993), los Campos de Acción Institucional, CAI (1999-2003), y los Programas Académicos Estratégicos, PRE, y redes de conocimiento (2006).

Lo anterior, con el ánimo de destacar los esfuerzos que la Universidad Nacional de Colombia, UN, en su voluntad de fortalecer sus capacidades de investigación, ha realizado en distintas épocas.

4. Capacidades de investigación del entorno nacional e institucional en la Agenda CTMM

Las capacidades de investigación se analizaron en dos contextos, el primero de carácter nacional y el segundo en el entorno de la Universidad Nacional de Colombia. En este punto es importante señalar que para el año 2008 los tomadores de decisión relacionados con temas de ciencia, tecnología e innovación de la UN solo contaban

con información básica de las actividades de investigación institucionales con indicadores incipientes que reportaban tal accionar. Ante esta situación, en el período comprendido entre los años 2008 y 2009 se diseñó e implementó un modelo para la medición de las capacidades de investigación. El modelo propuesto cuenta con dos componentes, el primero un módulo de medición del capital intelectual que da cuenta de la capacidad¹¹ de la organización para realizar actividades de investigación de la UN, del cual se obtiene un perfil científico de la organización de carácter genérico. Dicho módulo desde 2008 se ha implementado tres veces, y los resultados se pueden consultar en los libros electrónicos disponibles en <http://www.viceministerio.unal.edu.co>

El segundo módulo corresponde a la identificación de capacidades temáticas, denominado por VRI (2009) como portafolios temáticos, que tienen que ver con la identificación de capacidades institucionales de investigación específicas en cada una de las agendas de conocimiento; así se reconoce y construye el perfil científico asociado a cada una de ellas.

Ambos módulos describen las capacidades de investigación gracias a una aproximación desde el capital intelectual, el cual está conformado por tres elementos: capital humano, capital estructural y capital relacional.

4.1. Capacidades de investigación del entorno colombiano

Para el entorno nacional se contempla el análisis del capital humano y del capital estructural; en relación con el capital relacional, no se realizó su estudio porque su consolidación desborda los objetivos del Proyecto Agendas de Conocimiento, por cuanto resulta complejo y requiere el análisis de todos los actores del SNCyT.

Para la construcción del capital humano se descargaron los datos cuantitativos generales de los diversos grupos de investigación del país que trabajan temas relacionados con cada agendas de conocimiento, información secundaria que se obtuvo de la Plataforma ScienTI – Colombia a través de la página electrónica <http://www.colciencias.gov.co/scienti>. En dicho portal los equipos facilitadores identificaron los grupos de investigación a partir de las categorías establecidas por el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, así como el área de conocimiento para cada una de las trece agendas.

11 En el libro *Capacidades de Investigación en la Universidad Nacional de Colombia 2000-2008* se estableció que por capacidad se entiende “lo que se sabe hacer”, que incluye la capacidad personal, las organizativas y las tecnológicas y estructurales, que confieren valor a las actividades de la organización” (Bueno *et al.*, 2002, tomado de VRI, 2009).

Para consolidar el capital estructural del entorno nacional, se revisó la información de Sistema Nacional de Información de Educación Superior, SNIES¹², recopilando los datos de los programas de pregrado y posgrado ofertados por las Instituciones de Educación Superior, IES, con temas relacionados con cada agenda e indicando la participación porcentual de la UN.

Esta información fue complementada con información relacionada con laboratorios o centros de investigación, dependiendo del contexto de cada una de las agendas.

4.2. Capacidades de la Universidad Nacional de Colombia

La información sobre las capacidades acumuladas en investigación en la UN durante el período 2000-2010 se ha generado a partir de múltiples fuentes de información, cada una asociada al tipo de datos analizado según el capital por construir. En este sentido, para el análisis del capital humano de la UN según el tipo de información los datos provienen de diferentes fuentes: la planta docente, de la información suministrada por la Dirección Nacional de Personal, y lo relacionado con los grupos de investigación, con base en la información de la plataforma SCienTI entregada por Colciencias. Los integrantes de los grupos de investigación no vinculados a la Universidad y aquellos que tienen o estuvieron vinculados, a partir del cruce con la base de datos del Comité de Puntaje - SARA. Los investigadores¹³ se identificaron a partir de los productos de nuevo conocimiento o proyectos de investigación desarrollados en los últimos tres años, registrados en SARA y en el Sistema de información financiera Quipu.

Para el capital estructural, en particular la información de las revistas indexadas de la UN, se consideró el sistema de indexación Publindex de Colciencias. El análisis de la producción científica se realizó a partir de dos fuentes: i) la información declarada por los grupos de investigación avalados institucionalmente y registrados en la plataforma SCienTI, y ii) la información registrada en el módulo del Comité de Puntaje de SARA. Esta información se complementó con la información de la base de datos de ISI Web of Knowledge, y se depuró mediante el cruce con el Sistema SARA de la Universidad Nacional de Colombia.

La información del capital relacional se analizó con base en los proyectos ejecutados por los investigadores de la UN, independientemente de la fuente de financiación registrada en el Sistema de Información Financiera Quipu, de la Universidad.

12 Disponible en <http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-propertyname-2672.html>

13 A partir del modelo de capacidades de investigación en 2008, la UN asume que un investigador es aquel que en los últimos tres años ha generado un producto de nuevo conocimiento o ha inscrito formalmente un proyecto de investigación, registrado en SARA, Quipu o Hermes.

A partir de las bases de datos y la depuración mencionada se suministró a los grupos facilitadores listados de proyectos, productos e integrantes consolidados con base en descriptores relacionados con cada agenda, los cuales, luego de procesos intensos de depuración y análisis por parte de los vigías, se agruparon en los componentes mencionados de capital humano, capital estructural y capital relacional.

Con base en la definición previamente señalada, en el capital humano de la Universidad Nacional de Colombia se describen y analizan los actores relacionados con la investigación en la Universidad, entre ellos los investigadores, los estudiantes, los becarios y los grupos de investigación¹⁴.

Así, cada una de las agendas de conocimiento detalla los grupos de investigación identificados; además, aquellos que declaran pertenecer a la misma, se analizan de acuerdo con las sedes a la cual se encuentran vinculados, identificando aquellos que tienen carácter intersede¹⁵. En cuanto a las personas asociadas con los grupos de investigación, se indica la categoría docente (en orden ascendente según las siguientes categorías: instructor asistente, instructor asociado, profesor auxiliar, profesor asistente, profesor asociado, profesor titular), así como el estado de su vinculación (activo o retirado). En relación con las personas se detalla el nivel de formación de los investigadores asociados a los diversos grupos de investigación de cada agenda.

El capital estructural en el contexto de la Universidad Nacional de Colombia corresponde a las estructuras de apoyo para las actividades de investigación. Se encuentran los productos académicos, los programas de formación, los centros e institutos de investigación, los laboratorios, el acceso a las bases de datos y las plataformas del conocimiento mundial, entre otras. Da cuenta de la infraestructura en términos académicos y físicos para el desarrollo de la investigación, lo cual incluye la red de laboratorios y los centros e institutos de investigación, al igual que las reseñas de las revistas científicas que la Universidad edita.

Así, en el caso de las diferentes agendas de conocimiento, el capital estructural se analizó a partir de dos grandes elementos: 1) los productos académicos¹⁶ y

14 Una mirada general pero integral de la constitución del capital humano de la Universidad podría ser útil para relacionarlo con las necesidades del país, las tendencias de formación e investigación internacional, y la política y planeación de la institución, de tal forma que se convierta en un elemento visible para el trazo de lineamientos en el ingreso en la planta y el seguimiento a la misma, que fundamenten la apuesta de la Universidad por su quehacer en la investigación articulada a la formación y a la extensión.

15 Esta categoría especial de grupos de investigación, según VRI (2009), representa la interacción entre investigadores de diferentes sedes, lo que refleja un necesario ejercicio de sinergia institucional.

16 Producto de investigación: es el resultado de una dinámica sobre la puesta en marcha del plan de acción de los grupos de investigación. Los productos de investigación se dividen en: i) productos de nuevo conocimiento –tipo A; ii) productos relacionados con la formación de investigadores –tipo B, y iii) productos relacionados con la apropiación social del conocimiento –tipo C. Pueden ser, entre otros, artículos, libros, normas, registros de propiedad intelectual, formación de Capital Humano, participación en programas de posgrado, asesorías, extensiones a la comunidad y apropiación social del conocimiento.

de investigación en el área particular, y 2), los proyectos de investigación¹⁷. Por su parte, los productos académicos han sido categorizados según: i) los productos de generación de nuevo conocimiento¹⁸; ii) productos relacionados con formación¹⁹ y iii) productos de apropiación social²⁰, que se desarrollaron en el período considerado, así como el balance de proyectos de investigación y extensión. En relación con los productos de nuevo conocimiento, se dividen en ocho categorías que responden a la elaboración de capítulos de libros, impresos universitarios, artículos de revistas, libros de investigación, libros de texto, libros de ensayo, producción audiovisual o patentes.

Por último, en cuanto al capital relacional de las agendas de conocimiento, se identificaron aquellos proyectos de investigación y extensión financiados gracias a la participación conjunta con entidades u organizaciones externas de la Universidad Nacional de Colombia.

5. Formas de interacción de las agendas antecedentes del ajuste institucional

Los detalles metodológicos de este componente se abordarán en Poveda, A., Abad, P., Franky, J., Hurtado, R., Castaño, G., Echevarria, J., Castiblanco, J. (2012), relacionado con las herramientas y métodos generales implementados para la construcción de las agendas de conocimiento; sin embargo, es necesario precisar que los insumos

-
- 17 Proyecto de investigación: son actividades teóricas, prácticas y experimentales que realizan los grupos de investigación enmarcados de acuerdo con la línea de investigación que promueve el grupo, es decir la temática o área de investigación en la cual se centran. Los proyectos se pueden clasificar en proyectos de investigación básica y aplicada.
- 18 Productos de nuevo conocimiento: esta categoría hace referencia a productos de investigación tales como: artículos de investigación, libros de investigación, libro de autor que presente resultados de la investigación, capítulos de libros, voces en enciclopedias y similares, productos o procesos tecnológicos patentados o registrados, productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial, productos de creación artística y normas.
Productos de creación artística: son productos de nuevo conocimiento que contemplan, entre otros: memoria fotográfica o audiovisual de los objetos de arte desarrollados en la investigación, exposiciones en recintos de prestigio con catálogo o memoria en medio audiovisual, audiciones de concierto en recintos de prestigio con programa y memoria de audio, partitura final lista para impresión, grabación en CD lista para publicación, formato audiovisual listo para publicación.
- 19 Productos de investigación relacionados con la formación de investigadores: se refiere a las tesis doctorales o de maestría.
- 20 Productos de investigación relacionados con la extensión o apropiación social del conocimiento: se trata de los productos de divulgación o popularización de resultados de investigación, tales como: artículos publicados en medios de divulgación, libros de divulgación científica, organización de evento científico o tecnológico, presentación de ponencia en evento científico o tecnológico o capítulo en memorias de congreso editadas que presente resultados de la investigación, curso de extensión basado en resultados del proyecto de investigación.

suministrados por el equipo de profesores que trabaja en este componente, a quienes se ha denominado “escenaristas”, fueron fruto de reflexión, análisis y realimentación por parte de los expertos de cada una de las agendas. Así, pues, al considerar las dinámicas de cada comunidad académica, se apropiaron aquellas alternativas que mejor respondieran a las necesidades.

6. Consolidación de la visión de futuro

De acuerdo con De Castro *et al.* (2002), el análisis prospectivo es una técnica de planeación utilizada en muchos sectores económicos para mejorar la base de información disponible sobre la cual se sustenta la toma de decisiones estratégicas. En este contexto, la fase prospectiva implicó retomar e integrar todos los insumos construidos y validados en la etapa anterior para hacer esta visión lo más completa posible.

En el Proyecto Agendas de Conocimiento, el objetivo de la fase prospectiva es construir una visión de futuro participativa e incluyente de la investigación en la Universidad Nacional de Colombia para los próximos años en las diferentes agendas de conocimiento, a partir de las tendencias en la frontera del conocimiento, las demandas tecnológicas, los estudios de prospectiva y de otro carácter existentes en la Universidad y en el país, así como del *expertise* proporcionado por los expertos.

Para alcanzar dicho objetivo, durante todo el proceso de construcción de las agendas de conocimiento se implementaron diversas herramientas para encaminar esta visión de futuro, tales como:

- Panel de expertos para validación de documentos elaborados por equipos.
- Análisis de tendencias; las macrotendencias abordan este punto.
- Árboles que vinculan capacidades con tendencias de investigación.

Además, algunas agendas y sus equipos han implementado, según las particularidades de cada grupo de expertos, ábaco de Régnier, consulta a expertos, entre otros.

La visión de futuro comprende: i) plataforma estratégica; ii) potenciadores e inhibidores; iii) propuesta inicial de temáticas existentes y emergentes; iv) determinación de énfasis institucionales; v) elementos vinculantes, y vi) encuesta prospectiva. En este numeral se detalla el procedimiento seguido para la construcción de estos diferentes apartes en cada agenda. Los detalles metodológicos se describen en Sánchez-Torres *et al.* (2012).

7. Estructuración del documento final

La elaboración de la versión final del documento se realizó con base en las diversas revisiones y modificaciones de los documentos que incorporaron las sugerencias aportadas por los expertos. La estructura propuesta consideró la presentación del panorama general de investigación y los resultados de la visión de futuro ratificados a partir de las encuestas prospectivas.

8. Evolución histórica de las reuniones para la construcción de la Agenda CTMM

Con el objeto de evidenciar el acumulado de reuniones adelantadas con los expertos vinculados a la Agenda CTMM se presenta la evolución histórica de las mismas, las cuales se efectuaron empleando diferentes medios de comunicación como videoconferencias, reuniones personalizadas y reuniones presenciales, donde dos de ellas se realizaron en convención nacional, es decir, en plenaria con todos los profesores expertos de todas las agendas del Proyecto Agendas de Conocimiento (ver detalles en la tabla 15).

Tabla 15. Reuniones efectuadas en la Agenda CTMM durante el proyecto

Fecha	Objetivo	Tipo de reunión	Tipo de comunicación
25-oct-10	Presentar por primera vez los insumos para el trabajo de las agendas (capacidades de investigación y extensión, y macro tendencias) para validarlos y plantear primera estructura del árbol de conocimiento.	Grupal	Videoconferencia
1, 2, 3-feb-11	Definir el árbol de conocimiento (solo se consideraron áreas y temas de materiales, se propuso excluir los temas de minería y formular otra agenda; se propusieron 5 áreas), plantear la visión de futuro de la agenda (objetivos, metas y otros), potencializadores e inhibidores y elementos vinculantes con las demás agendas.	Grupal-plenaria	Reunión presencial
24-feb-11	Reunión entre el vicerrector y dos de los expertos de la agenda para explicar el porqué no se puede separar en dos la Agenda de Materiales y Minerales.	Grupal	Reunión presencial

Continuación tabla 15. Reuniones efectuadas en la Agenda CTMM durante el proyecto

Fecha	Objetivo	Tipo de reunión	Tipo de comunicación
14-jun-11	Elaboración de nueva propuesta del árbol de conocimiento (incluye nuevamente áreas de materiales y minerales; se propusieron 7 áreas) y revisión del proceso de búsqueda de macro tendencias.	Grupal	Videoconferencia
10-ago-11	Presentar la propuesta del Equipo de Escenarios.	Individual-grupal	Videoconferencia
06-dic-11	Plantear versión final del árbol de conocimiento (se propusieron 3 áreas) con el cual se modificará la encuesta prospectiva, y plantear primeras bases para definir proyectos y programas de la agenda.	Grupal	Reunión presencial
14-feb-12	Definir detalles y contenido de la presentación de la Agenda CTMM en la Jornada de Socialización y hacer correcciones, revisión y validación del documento oficial de la agenda.	Grupal-plenaria	Reunión presencial
16-feb-12	Gran Jornada de Socialización con la comunidad académica, videoconferencia con conexión de diferentes sedes y presentación de avances de todas las agendas.	Comunidad académica	Videoconferencia - presencial

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Macrotendencias de la Agenda CTMM

La ciencia y la investigación en materiales ha sido una de las líneas prioritarias en la elaboración de estudios prospectivos de naciones emergentes y desarrolladas, de acuerdo con un total de 16 temas considerados por el Centro de Estudios en Economía Sistémica, Ecsim, de Colombia. Estos temas se ubicaron en segundo puesto después de las tecnologías de la información y la comunicación, TIC, y la electrónica (Colciencias, 2005). A continuación se presentan requerimientos en investigación y apuntes importantes en el desarrollo científico y tecnológico en minería y materiales en países europeos, al igual que en India, Japón, Estados Unidos y Australia, los cuales han tenido avances significativos en estudios de prospectiva, investigación y desarrollo. Los hallazgos encontrados se resumen de la tabla 16 a la tabla 18.

Tabla 16. Requerimientos futuros de investigación en ciencia y tecnología de materiales

Tópico	Requerimientos en investigación
Energía	Las fuentes de energía renovable no serán suficientes para cubrir las necesidades de consumo mundial; se verán desarrollos en materiales nanoestructurados, materiales fotovoltaicos avanzados como películas delgadas de silicón nanocristalina, nuevos calcogenuros, catalizadores avanzados con áreas de superficie más accesibles, soportes nanoestructurados de catalizadores, membranas y diodos emisores de luz con mejoras de la eficiencia cuántica de los dispositivos de iluminación. Se desarrollarán materiales avanzados para almacenar hidrógeno de forma segura; los materiales nanoestructurados y los híbridos tendrán un rol importante en este campo.
Transporte	Transporte: desarrollo de materiales y modos de transporte que respondan a la demanda de manera sostenible. En el futuro, los motores diesel reemplazarán muchos de los motores existentes de combustión con gasolina; los materiales de estructura ligera, especialmente el desarrollo y procesamiento de aleaciones, serán el foco de los materiales en el futuro, que además incluirán usos innovadores como compuestos reciclables y biocompuestos. Las tendencias en este campo se resumen en: materiales fuertes y ligeros, sostenibilidad y reciclaje.
Construcción	La comunidad de la ciencia de los materiales y la ingeniería tendrá la oportunidad de desarrollar materiales para la construcción que sean verdes, sostenibles y eficientes energéticamente. En los años venideros se verán más hogares eco-eficientes que usen materiales y diseños inteligentes.
Alimentos, reciclaje y empaquetamiento	Se requieren nuevos materiales para empaquetado de alimentos, aguas, medicinas y productos de consumo que no perjudiquen el medio ambiente. Materiales reciclables o biodegradables como los plásticos biodegradables hechos a partir de la fermentación de azúcares y aceites de las plantas usando bio-fábricas microbianas. El reciclaje del metal será una tecnología crítica que seguramente cambiará el paradigma de la producción de metales, ferrosos y no ferrosos.

Continuación tabla 16. Requerimientos futuros de investigación en ciencia y tecnología de materiales

Tópico	Requerimientos en investigación
Biomateriales y salud	Mayores desarrollos en el área de la modificación de superficies de biomateriales para un mejor control de la sangre y de la compatibilidad con los tejidos; las modificaciones pueden ser con tratamientos de plasma o con injertos químicos. Los implantes y dispositivos que son vehículos de aplicaciones de drogas también serán otra área para desarrollos futuros. Las tecnologías críticas para el desarrollo de la medicina regenerativa serán la química activa, de manera que los biomateriales no solo tendrán funciones mecánicas, sino que serán reguladores de la actividad biológica. También se verán mayores avances en compuestos bio-orgánicos e inorgánicos; actualmente, los polianhídridos bioerosionables se sintetizan como vehículos de grandes y pequeñas moléculas; en el futuro este campo florecerá para llevar a cabo la "quimioterapia local"

Fuente: Apelian (2007).

De acuerdo con la Sociedad de Investigación de Materiales (Materials Research Society) de Estados Unidos, el desarrollo energético y de materiales ha sido importante para abrir nuevos horizontes para la humanidad. En el campo de la energía hay numerosos retos y necesidades en el desarrollo de nuevos materiales que incluyen: materiales para baterías con almacenamiento masivo de energía eléctrica, celdas solares de alta eficiencia y bajos costos y cables superconductores de distribución potentes; se hace hincapié en los requerimientos de once áreas de estudio (MRS, 2010).

Tabla 17. Tendencias y requerimientos de investigación para nuevos materiales en Estados Unidos

Tendencias y requerimientos en investigación
Energía solar: sistemas fotovoltaicos y nanotecnología para capturar y convertir energía solar más eficientemente y celdas solares plásticas o paneles para superficies curvas
Energía eólica: mejoramiento de la rigidez de las turbinas para evitar deformaciones y materiales con larga vida útil resistentes a condiciones duras
Energía geotérmica: materiales para perforaciones en rocas y que resistan condiciones extremas de corrosión para transmisión de calor
Energía nuclear: materiales para sistemas de reactores avanzados y contenedores de desperdicios nucleares
Energía fósil: materiales para la conversión de energía del combustible a electricidad
Biocombustibles: materiales resistentes a la corrosión, debido a la naturaleza corrosiva de los combustibles, y que faciliten procesos de combustión
Hidrógeno: tecnologías para el almacenamiento y materiales para la producción de celdas de combustible

Continuación tabla 17. Tendencias y requerimientos de investigación para nuevos materiales en Estados Unidos

Tendencias y requerimientos en investigación
Eficiencia en el transporte de energía: aceros avanzados para el desarrollo de vehículos resistentes a choques, desarrollo de metales livianos, aplicaciones de nuevos aluminios, magnesio y titanio, y compuestos de fibra de carbón
Energía en la construcción: nuevos materiales para las construcciones sin consumo de energía ni emisiones de carbono; hay retos en cuanto a la capacidad de almacenamiento de paredes, pisos y techos, metamateriales ópticos y cristales que usen nanomateriales inorgánicos para aumentar la ganancia de energía solar y una mayor durabilidad
Almacenamiento de energía: desarrollo de supercapacitores, baterías y almacenadores de energía térmica
Sostenibilidad: uso eficiente de los materiales intensivos y estratégicos para la mitigación de la corrosión, la contaminación y otros impactos negativos de la tecnología y el crecimiento económico

Fuente: MRS (2010).

Otras áreas de interés se resumen a continuación:

Tabla 18. Tendencias y requerimientos de investigación para materiales y minería en Europa, India, Japón y Australia

Región	Área de interés	Tendencias y requerimientos en investigación
Europa	Materiales para industrias (a)	Energía: se buscan niveles cero de dióxido de carbono en generación de energía a través de tecnologías solares y técnicas de fusión
		Seguridad: materiales para infraestructura, edificaciones y comunicaciones, con tecnologías como sensores y materiales sensitivos. Se necesitan avances en polímeros avanzados para usos electrónicos
		Calidad de vida: biomateriales, empaquetamiento y textiles técnicos
	Minería (b)	Materia prima fundamental: localización de materia prima crítica y desarrollo de nuevos métodos de extracción para asegurar la oferta de materiales
		Exploración innovadora
		Tecnologías para la extracción y el procesamiento de recursos
		Uso de materia prima secundaria
	Reducción del consumo de energía e impacto ambiental cero, reutilización y reciclaje en la industria minera	
India	Misiones espaciales (c)	Miniaturización, mimetización natural, procesamiento en condiciones lejanas al equilibrio, predicción de la estructura y de las propiedades de los materiales a través de técnicas computacionales

Continuación tabla 18. Tendencias y requerimientos de investigación para materiales y minería en Europa, India, Japón y Australia

Región	Área de interés	Tendencias y requerimientos en investigación
Japón	Calentamiento global (d)	Factores determinantes en el desarrollo de materiales: calentamiento global, agotamiento de combustibles fósiles, diagnóstico y prevención de enfermedades y fuentes de energía alternativa
Australia	Minería (e)	Tecnologías de mapeo en tercera dimensión, mejoramiento del conocimiento en perforaciones, minería de superficies controlada geológicamente, nuevos procesos de extracción de minerales, minimización del uso del agua, manejo de elementos tóxicos, disminución de residuos a niveles cero y eco-eficiencia
Región	Área de interés	Tendencias y requerimientos en investigación
Global	Minería (f)	Creación de mercados globales
		Crecimiento de las comunicaciones
		Emergencia de las redes globales de información
		Industria comprometida con el desarrollo sostenible

Fuente: Elaborado a partir de (a) Lee-Müller *et al.* (2007), (b) ETP SMR (2009), (c) Chidambaram y Banerjee, citado por Raj y Sankara (2005), (d) NIMS (2007), (e) Lilly (s.f.), (f) Banco Mundial (Remy, 2003).

De acuerdo con programas prospectivos en Polonia, las próximas tendencias en desarrollo de materiales sugeridas por el Comité de Ciencia de los Materiales de la Academia Polaca de Ciencias son (Dobrzaski *et al.*, 2010):

- Tecnologías de fabricación de materiales con propiedades especificadas por usuarios del producto y de metodologías de predicción del comportamiento ingenieril de los materiales con el desarrollo de diseños computacionales, conectados con el modelado y la simulación de los procesos de manufactura y de predicción de las propiedades de los materiales.
- Tecnologías de bajo consumo de energía y ecológicas para la manufactura, producción y procesamiento de metales, sus aleaciones y otros materiales de construcción, incluidos materiales de baja densidad para el transporte y para altas temperaturas, materiales compuestos, gradientes, biodegradables y reciclables; también la industria energética, renovable y nuclear, las aleaciones de cobre, los materiales poliméricos, cerámicos, vidrios, refractarios y los materiales altamente porosos.
- Tecnologías de ingeniería de superficies, materiales laminados y gradientes, también a escala nanoestructural.
- Tecnologías seguras para materiales y productos compuestos de elementos y materiales nanoestructurados y nanotecnología.

- Materiales avanzados y tecnologías para ingeniería y medicina biomédica y para materiales biomiméticos.
- Tecnologías para materiales avanzados y biodegradables para la industria, el transporte y la generación eléctrica, con ciclos ambientales seguros y cerrados.
- Materiales funcionales avanzados e infomateriales, incluidos materiales inteligentes, semiconductores y fotónicos.
- Desarrollo y normalización de investigación avanzada y de técnicas analíticas, además de metodologías de investigación de propiedades en ingeniería de los materiales, especialmente de los nanoestructurados.

A partir del árbol de conocimiento definido por los expertos de la Agenda CTMM, se hizo una búsqueda de tendencias, retos, perspectivas, pronósticos y previsiones en investigación y tecnología para cada una de las áreas definidas. El árbol, como ya se mencionó, se detalla en la figura 13 del presente documento.

Área 1. Fundamentos y ciencia de los materiales

Durante las últimas siete décadas, la ciencia y la ingeniería de los materiales se han enfocado en dos áreas de investigación y desarrollo: el sector industrial y la defensa nacional; después de la Segunda Guerra Mundial hubo un mayor interés por parte de las empresas en invertir en ciencias básicas e ingeniería (Apelian, 2007).

Según Azonano.com (2007), la compañía Bayer señaló que el futuro de la ciencia de los materiales está en la nanotecnología y en los nanotubos de carbono; la primera ha permitido mejorar las propiedades de diversos materiales, por ejemplo los utilizados en productos deportivos; los nanotubos de carbón, por su parte, han aumentado su demanda como aditivos conductores para la fabricación de empaquetados en componentes electrónicos; la compañía señaló la importancia del mercado asiático para el desarrollo de la nanotecnología.

Los campos de investigación por ser priorizados para el año 2020 en la ciencia de los materiales se muestran en la siguiente tabla (NIMS, 2007):

Tabla 19. Tópicos de investigación priorizados hasta el año 2020 en la ciencia de los materiales.

Tópico	Subtópico
Investigación en nanotecnología y materiales relacionados	Componentes básicos de nanotecnología
	Nano-biotecnología
	Tecnologías de la comunicación y la nano-información
	Creación de nuevos materiales y control de texturas nanoscópicas
Investigación en materiales que den respuesta a necesidades sociales	Materiales para el medio ambiente y la energía
	Investigación sobre la confiabilidad de los materiales

Fuente: NIMS (2007).

Estudios bibliométricos realizados en ciencia y tecnología de materiales entre los años 2006 y 2010 con bases de datos de Web of Science señalan que este campo está relacionado con frentes de investigación como la nanociencia, las celdas solares, las celdas de combustible y la polimerización. En lo referente a nanociencia se destacan los nanotubos, los grafenos y los nanomateriales. Otras áreas de investigación son los carbones mesoporosos, los sensores electroquímicos, los metamateriales y las propiedades magnéticas de materiales. Los veinte frentes de investigación encontrados en el reporte para el lapso de tiempo considerado, ordenados de acuerdo con el número de citas, aparecen en la tabla 20. Esta información da cuenta de los temas que se han investigado en esta área durante los últimos años (Adams y Pendlebury, 2011).

Tabla 20. Listado de temas de investigación en ciencia de los materiales a partir de bases de datos de Web of Science entre 2006-2010.

Puesto	Campo dentro de la ciencia de los materiales	Citaciones	Puesto	Campo dentro de la ciencia de los materiales	Citaciones
1	Propiedades electrónicas del grafeno	9.524	11	Vidrios metálicos dúctiles	4.267
2	Celdas solares poliméricas	6.656	12	Imanes de una molécula	4.013
3	Materiales multiferroicos y magnetoeléctricos	6.509	13	Auto-ensamblaje supra-molecular en materiales nanoestructurados	3.810
4	Matrices de nanotubos de dióxido de titanio en el tinte de celdas solares sensibilizadas	5.645	14	Nanopartículas de sílice mesoporosas para liberación de fármacos y aplicaciones de los bio-sensores	3.693

Continuación Tabla 20. Listado de temas de investigación en ciencia de los materiales a partir de bases de datos de Web of Science entre 2006-2010.

Puesto	Campo dentro de la ciencia de los materiales	Citaciones	Puesto	Campo dentro de la ciencia de los materiales	Citaciones
5	ATRP y química en síntesis de polímeros	5.129	15	Propiedades mecánicas de los metales nanocristalinos	3.682
6	Hojas de óxido de grafeno	4.815	16	Cristales líquidos para semiconductores orgánicos	3.637
7	Superficies superhidrófobas	4.732	17	Nanorods de oro para la imagen y la terapia fototérmica/plasmónica de las células tumorales	3.506
8	Ferromagnetismo alto en semiconductores magnéticos de óxido de zinc diluidos	4.667	18	Polímeros mesoporosos altamente ordenados y marcos de carbón	3.362
9	Sensores químicos fluorescentes altamente selectivos	4.581	19	Conversión ascendente de nano-cristales fluorescentes de las tierras raras	3.351
10	Nanofibras para ingeniería de tejidos	4.577	20	Circuitos lógicos moleculares	3.315

Fuente: Adams y Pendlebury (2011).

El mismo reporte destaca tres temas significativos por sus implicaciones en la economía global, ofreciendo revoluciones potenciales en la electrónica, el almacenamiento de energía y la ingeniería biomédica; estos son:

- Grafenos: fueron descubiertos en el año 2004; desde entonces la producción científica en este tema ha aumentado notablemente como fue la de los fullerenos después de 1985 y los materiales perovskitas después de 1986; no hay señales de que la investigación en este campo esté descendiendo.
- Marcos metal-orgánicos (*Metal-organic frameworks* – MOFs): son usados en el almacenamiento de gas, hidrógeno, metano y otros gases, para la purificación y separación del gas y para catálisis; su potencial en el almacenamiento de energía ha sido de interés para la comunidad científica; particularmente en China ha sido calificado este tema como prioridad en investigación.
- Nanofibras (*Electrospun Nanofibrous Scaffolds*): esta es una área multidisciplinaria que vincula la ciencia de los materiales, la química de polímeros y la nanotecnología con la ingeniería biomédica; los resultados de estas investigaciones son muy prometedores para la regeneración de tejidos y órganos.

Área 2. Tecnología e innovación de materiales

Esta área abarca tres temas, los materiales tradicionales, los nuevos materiales y el procesamiento de materiales. Se considerarán como materiales tradicionales aquellos que por tradición han sido estudiados por la ciencia y la ingeniería de los materiales, siendo estos: metales, cerámicos y polímeros; según consideración del grupo de expertos, se incluyen también los subtemas de maderas y fibras y los materiales compuestos, para un total de cinco subtemas. En las tablas 21, 22 y 23 se resumen los principales hallazgos en cuanto a ciencia y tecnología de maderas, metales y polímeros.

Tabla 21. Requerimientos en investigación para maderas y fibras.

Subtema 1: Madera y fibras
<p>Estrategias para el desarrollo tecnológico (a):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducir las emisiones de carbono y el consumo de energía en molinos y plantas • Reducir el consumo de agua dulce por lo menos en un 50% • Aumentar la oferta de fibras de alta calidad y la biomasa de bajo costo • Aumentar el valor de las fibras de alta calidad y la biomasa de bajo costo • Habilitar nuevos productos y características de los productos • Mejorar la recuperación y el reciclaje de los desperdicios de la madera y de las fibras
<p>Objetivos estratégicos de la agenda de investigación (b):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de productos innovadores para mercados cambiantes y satisfacción de los consumidores. • Desarrollo de recursos inteligentes y procesos manufactureros eficientes en energía • Mejoramiento de la disponibilidad y uso de la biomasa forestal para bio-productos y bio-energía. • Responder a las demandas de productos forestales y gestión sostenible • El sector forestal en una perspectiva social
<p>Áreas tecnológicas según oportunidades de mercado (c):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Productos y procesos “verdes” o amigables con el ambiente: hay una preocupación creciente frente a la contaminación generada por el embalaje, la producción de residuos y el rendimiento de las tablas. • Una cadena de suministro integrada: se requiere automatizar e integrar la cadena de suministro con las operaciones. • Montaje y embalaje: se menciona una tecnología de radio frecuencia (RF) para escanear y verificar que todas las piezas estén completas antes del embalaje. • La personalización: se requiere un software automatizado con las características requeridas por el cliente.

Continuación tabla 21. Requerimientos en investigación para maderas y fibras.

Subtema 1: Madera y fibras

Temas de investigación y desarrollo (d), (e):

- **Biología:** los campos potenciales de investigación cubren temas como la ingeniería genética de los árboles, las implicaciones de los métodos de protección biológica de los bosques, la manufactura ambiental y razonable de los productos de madera, el reciclaje de los residuos de la industria de la madera y la madera en general, la gestión biotecnológica de los residuos líquidos y sólidos de la industria maderera y de productos madereros, durante y después de su uso. Las investigaciones tienen entre sus objetivos las aplicaciones ambientalmente amigables en los sectores forestales y madereros; se ha investigado la desintegración de la madera de baja calidad que dé origen a fibras y astillas con el fin de desarrollar productos con mejor calidad.
- **Energía:** se espera que la producción y el consumo de combustibles a partir de la madera aumenten considerablemente en los próximos años. Por otro lado, en la tendencia para el comercio de productos de madera se esperan algunos cambios, como la reducción de comercio de rollos de madera, que se cambiará por productos ya procesados y con valores agregados.
- **Nanotecnología:** podría cambiar los procesos relacionados con la madera y la producción de papel, transformando el sector basado en recursos por uno basado en el conocimiento con muchas más posibilidades. Es necesario comprender las propiedades de los materiales en la nanoescala, definir nuevos conceptos y metodologías de diseño de herramientas e interactuar con otras áreas relacionadas bajo los enfoques de incorporación de conocimiento y tecnologías desarrolladas en materiales de la industria forestal, así como en el enfoque en nuevas plataformas, técnicas de producción y aplicaciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de: (a) AFPA (2010), (b) Forest Based Sector (2006), (c) WMC (2008), (d) Kües (2007), (e) Atalla *et al.* (s.f.).

En el subtema de metales, cabe resaltar los metales verdes. Si bien no hay una definición común para estos, entre sus atributos verdes y sostenibles están: tener propiedades que los hacen infinitamente reciclables, ser materia prima y componentes críticos en nuevas tecnologías verdes. Se pueden mencionar tres aplicaciones básicas en estas tecnologías (Dexia, 2010):

- **Energía renovable:** con materia prima de metales se prevé la fabricación de celdas solares y de turbinas de viento.
- **Soluciones de transporte más verde:** vehículos eléctricos híbridos y autos catalizadores.
- **Soluciones de iluminación y eficiencia energética:** hay dos tipos de tecnologías de iluminación que dependen de los metales que han surgido, siendo estas las luces fluorescentes compactas (CFL) y los diodos emisores de luz (LED).

Estos metales provienen de los REE (*Rare Earth Elements*). En vista de que China es el país que más reservas tiene de estos minerales, con el 30% mundial, se han planteado estrategias para asegurar la oferta de metales verdes; entre estas se resalta la necesidad de desarrollar tecnologías que permitan su reciclaje y reutilización. Otros metales

verdes solo se pueden obtener durante la extracción de otros metales; por ejemplo, el zinc es la única fuente del germanio, el cadmio y el indio (Dexia, 2010). Según el taller realizado en septiembre de 2010 por el Foro Económico Mundial sobre escenarios en minerales y metales, se prevé la creación de acuerdos comerciales verdes para el año 2030 que requieren un enfoque en la sostenibilidad, la eficiencia energética, las soluciones al transporte y el sector de los REE (World Economic Forum, 2010).

De otro lado, se puede hacer mención de metales estratégicos como el litio, el manganeso, el vanadio y los REE, como *proxy* para la innovación y el desarrollo de la nueva generación de tecnologías. Los REE particularmente requieren mucha atención, dado que hay muchas industrias que dependen de la oferta que China hace de estos elementos para la fabricación de celulares, computadores portátiles, dispositivos ópticos, entre otros (Widepr.com, 2011). En la tabla 22 se resumen los hallazgos principales para el cobre y el acero, este último como aleación del hierro y el carbón.

Tabla 22. Requerimientos en investigación para metales

Subtema 2: Metales	
Cobre (a)	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir los costos de procesamiento • Maximizar el valor agregado del uso del cobre: hay oportunidad de usar menos metal y mejorar el rendimiento del producto. • Aumentar la presión competitiva de otros materiales: en cada sector se enfrenta la presión de mejorar el rendimiento y de reducir los costos. • Modificar regulaciones, códigos y estándares: la eficiencia energética y la sostenibilidad son los temas que deben enfrentar las agendas gubernamentales; el cobre está siendo visto como un material altamente eficiente y reciclable. • Asegurar el rendimiento de los productos de cobre: la simulación por computación está siendo utilizada para predecir y validar el rendimiento del cobre en nuevas aplicaciones. • Aumentar el uso de materiales complementarios ingenieriles: la demanda por materiales con mejores características ha despertado el interés en los materiales compuestos, en los que un material de refuerzo se adiciona para aumentar características como dureza y durabilidad. • Diseñar para la recuperación y la reutilización: estas prácticas preservarán el valor del cobre mientras se beneficia el medio ambiente; el cobre es uno de los metales reciclados más eficientemente en el mercado mundial y es una alternativa muy atractiva en aplicaciones energéticas.
	<p>Las futuras aplicaciones potenciales perfilan tendencias en cuanto a: comunicación, computación, simulación y modelación metalúrgica. El interés por el medio ambiente y las aplicaciones en química de superficies para el sector energético abren posibles áreas de exploración como: la imprenta electrónica con tintas de cobre compatibles con la silicona y las superficies de polímeros, el mejoramiento de la conductividad térmica del cobre como material para la catálisis o como sustrato para la catálisis en la producción de hidrógeno, el transporte del oxígeno, la captura del dióxido de carbono y las estructuras nano-ingenieriles de cobre.</p>
	<p>Tecnologías enfocadas al cuidado ambiental involucran los procesos de recuperación de metales con microorganismos con el fin de reducir el impacto ambiental; cabe mencionar la tecnología de <i>biomining</i> y el <i>bioleaching</i>.</p>

Continuación tabla 22. Requerimientos en investigación para metales

Subtema 2: Metales	
Acero (b)	Disminución de CO ₂ y procesos alternativos para explotación del hierro, se encontraron tres alternativas potenciales: la reducción de las suspensiones de hierro usando hidrógeno; la electrólisis de óxido (<i>Molten Oxide Electrolysis</i> - MOE), que produce hierro fundido y oxígeno poniendo una corriente eléctrica entre dos electrodos inmersos en una solución disuelta con óxido de hierro, no genera CO ₂ . Este proyecto fue desarrollado con el MIT y será adaptado por la NASA para extraer oxígeno del suelo lunar; el tercero es el desarrollo de procesos alternativos para la producción de hierro. Otras tecnologías incluyen la optimización de la pos-combustión en los hornos, sensores ópticos para la predicción del carbón y la temperatura en los hornos y el sistema láser contorneado para medir el espesor del revestimiento refractario en los buques de transformación de acero fundido
	Sostenibilidad, reciclaje y captura de CO ₂ con el uso de la biomasa y de residuos de óxido en el procesamiento del hierro y con la formación de carbonato hidratado a partir de recuperación de escoria

Fuente: Elaboración a partir de (a) International Copper Association (2011), (b) AISI y DOE (2010).

Tabla 23. Requerimientos en investigación para polímeros

Subtema 3: Polímeros
Matrices poliméricas nanocompuestas (a): entre los mayores retos está el desarrollo de tecnologías en procesamiento y manufactura en términos de cantidad; también se prevé que los polímeros biodegradables basados en nanocompuestos tengan un futuro promisorio para aplicaciones en materiales biodegradables .
Polímeros conductores (b): han generado desarrollos en aplicaciones farmacéuticas y médicas con la fabricación de biosensores y de músculos artificiales; este campo plantea una nueva serie de oportunidades por vislumbrar a partir de la polianilina conductora. Las aplicaciones potenciales presentes y futuras de los polímeros conductores están enfocadas a: protección contra la corrosión, sensores y dispositivos electromecánicos, baterías, electrocromoceldas, aplicaciones de radar y LED.
Polímeros inteligentes (c): afectarán drásticamente y cambiarán el rendimiento de las máquinas, los textiles, los robots y la cirugía.
Nuevos combustibles para el procesamiento (d): se ha llamado la atención sobre la urgente necesidad de desarrollar nuevas rutas sintéticas de materiales poliméricos con el uso de recursos renovables;ejemplos de estos son la biomasa, el “polylactide”, los aceites vegetales y la copolimerización del dióxido de carbono.
Investigación en ciencia y tecnología de polímeros enfocada a (e): células orgánicas solares, nuevas tecnologías para tintas e impresión, diodos emisores de luz, células fotovoltaicas, pilas de combustible, recubrimientos funcionales, sistemas de liberación de fármacos, ingeniería de tejidos vivos y artificiales, implantes ortopédicos y demás dispositivos. Los desarrollos futuros serán en aplicaciones biomédicas y a una micro-nanoescala.

Continuación tabla 23. Requerimientos en investigación para polímeros

Subtema 3: Polímeros

Se esperan avances en (f): fibras de carbono con compuestos de matriz polimérica que sirvan para reemplazar piezas de automóviles fabricadas en acero logrando una reducción entre el 50% y el 60% de la masa, elaboración de materiales de interfaz térmica integrando nanotubos con matrices poliméricas y mejoramiento de propiedades como la resistencia mecánica, la dureza y la baja absorción de humedad de los polímeros a través de nanopartículas; aunque esto podría reducir la flexibilidad del polímero, igualmente podría brindar gran cantidad de aplicaciones.

Fuente: Elaboración a partir de (a) Hussain *et al.* (2006), (b) Entezami y Massoumi (2006), (c) Office of Science & Innovation (2006), (d) Williams y Hillmyer (2008), (e) Technische Universiteit Eindhoven - University of Technology (s.f.), (f) ITRS (2009); USDOE (2006).

Los cerámicos, por su parte, se utilizan en ladrillos y tejas, pero además en otra amplia gama de aplicaciones como los componentes magnéticos y eléctricos (Barry y Grant, 2007); también han tomado gran importancia en la construcción de pavimentos, revestimientos y fachadas (Rincón y Romero, s.f.). En el sector de la cerámica avanzada se consideran las siguientes áreas de actuación hoy en día (Rödel *et al.*, 2009):

- Las cerámicas funcionales: como cerámicas eléctricas, magnéticas y superconductoras.
- Las cerámicas estructurales: monolitos y compuestos.
- Las biocerámicas: hidroxiapatita y alúmina.
- Los revestimientos cerámicos: óxidos, nitruros, carburos, boruros y el diamante, como revestimientos, depositados por las tecnologías como pulverización, la deposición de vapor y los recubrimientos.
- Los vidrios especiales: vidrios planos procesados, resistentes al fuego y para optoelectrónica.

El *roadmap*²¹ de Rödel considera tres áreas de aplicación de las cerámicas avanzadas: electrónica, información y comunicación; energía y medio ambiente e ingeniería mecánica, y dos áreas de ciencia: propiedades estructurales y funcionales y tecnología de procesos, para cada una de las cuales lista las tendencias, perspectivas y metas en investigación y aplicación. La tabla 24 señala los retos en investigación para cada una de estas.

21 El *roadmap* (hoja de ruta) tecnológico es uno de los métodos más usados para apoyar la gestión estratégica de la tecnología. A nivel industrial ayuda a pronosticar las tendencias tecnológicas futuras con base en métodos exploratorios y enfoques normativos. Se define como la visión que tienen las partes interesadas respecto a cómo se quiere lograr un objetivo propuesto (Lee y Park, 2005; Probert y Radnor, 2003).

Tabla 24. Áreas de aplicación y necesidades de investigación en cerámicas avanzadas

Área de aplicación	Necesidades en investigación
Electrónica, información y comunicación	<ul style="list-style-type: none"> Componentes adaptónicos y mecatrónicos para la supresión del ruido y la vibración, para lo cual se requieren compuestos de fibras y cintas cerámicas. Piezocerámicas para sensores en usos ambientales; se espera un mercado de materiales que no contengan plomo. Módulos integrados de cerámicas para electrónica de potencia y tecnologías de micro-ondas están a punto de integrar cerámicas funcionales. <i>Wireless</i>: la comunicación con energía-autónoma requiere cerámicas avanzadas para envases de recolección y almacenamiento de energía.
Energía y medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Nuevas cerámicas a nanoescala para baterías con capacidad de almacenamiento superior, para mejorar el almacenamiento de la energía. Las membranas de filtro de cerámica y materiales catalíticamente activos pueden proporcionar una tecnología clave para la provisión de agua limpia y agua potable a precios asequibles. Membranas de separación cerámica para los procesos de combustión, con el uso de conductores de alto rendimiento iónico, meso-o nano-filtros y materiales catalíticamente activos libres de metales nobles; se espera que tengan un gran impacto en el corto y largo plazo. Retos específicos en: optimización de las propiedades y de la microestructura en la fabricación de nuevos materiales, recubrimientos y compuestos, integración de sensores en materiales y dispositivos cerámicos y materiales multi-escala y dispositivos de modelamiento para el desarrollo de procesos.
Ingeniería mecánica	<p>Aplicaciones en usos como tuberías, válvulas, tecnología de bombeo, herramientas de corte, industria química, los sensores, la multifuncionalidad y la miniaturización; esta última tendencia permitirá el uso de micromáquinas con microcomponentes de cerámica en áreas como la medicina y la comunicación. Estas aplicaciones generan demandas de investigación en: mejoras en técnicas de molienda, revestimientos, resistencia al desgaste y simulación de la cadena de procesos.</p>
Propiedades estructurales y funcionales	<ul style="list-style-type: none"> Las cerámicas estructurales: mejoramiento de la estabilidad mecánica a partir de nuevos materiales compuestos con refuerzos de nanotubos de carbono y la integración de sensores; se espera que las estructuras de adaptación basadas en piezocerámicas pongan los límites entre la ingeniería mecánica y las tecnologías de procesos. Las cerámicas funcionales, estructuras: exploración del potencial de cerámicos superconductores y sensores. Las cerámicas funcionales, propiedades: los límites de propiedades como el efecto piezoeléctrico, el electroóptico, el opto-restrictivo y otros no han sido explorados, pero prometen proveer avances científicos y tecnológicos en el futuro. La miniaturización y la integración: en dispositivos y sistemas; esta tendencia aumentará en el mediano y largo plazo. El modelamiento: desarrollo de nuevos materiales y dispositivos a partir de la simulación.

Continuación tabla 24. Áreas de aplicación y necesidades de investigación en cerámicas avanzadas

Área de aplicación	Necesidades en investigación
Tecnología de procesos	El desarrollo de tecnologías y procesos innovadores es indispensable para transferir conocimiento en propiedades estructurales y funcionales de los materiales cerámicos; se señalan los siguientes aspectos: procesos robustos, simples y asequibles, formación y diseño de componentes y modelamiento en nano, micro, meso y macro-escala.

Fuente: Rödel *et al.* (2009).

Adicionalmente, se plantean algunas tendencias en el sector de tecnología de cerámicos como: procesamiento de materiales cerámicos, aplicaciones de las membranas de cerámicas en la industria alimentaria y membranas cerámicas nanoporosas (Lin, 2007).

En cuanto a cementos y concretos, la reducción de emisiones de carbón es una macro-tendencia que está delineando la investigación y las aplicaciones en la industria cementera. El *Roadmap* Tecnológico en Cemento (2009), desarrollado por la Agencia Internacional de Energía y por el Concilio Mundial de Negocios para el Desarrollo Sostenible, plantea algunas tecnologías y necesidades en investigación y desarrollo:

- La eficiencia térmica y eléctrica: el lecho fluidizado es una tecnología prometedora para mejorar la eficiencia, que aún tiene que demostrar su adecuación a escala en la industria del cemento. Es vital asegurar que las nuevas plantas estén equipadas con tecnologías eficientes. Nuevos equipos de molienda también están siendo investigados para reducir el consumo de electricidad de los molinos.
- El uso de combustibles alternativos: algunos de los combustibles alternativos en la industria cementera son los neumáticos desechados, los desechos de aceites y disolventes, los plásticos, textiles y papel y la biomasa; pero hay necesidades y metas en investigación y desarrollo en cuanto al uso de otros combustibles que permitan disminuir la fuente convencional: el carbón.
- La sustitución de la caliza cocida: la producción de caliza cocida, principal componente de varios tipos de cemento, genera grandes cantidades de CO₂; por tal motivo, la investigación en sustitutos de la caliza cocida para la producción de cemento es una prioridad.
- La captura y el almacenamiento del carbón: esta tecnología es altamente promisorio, pero no ha sido probada a escala industrial en la producción cementera. Existen otras tecnologías en pos-combustión y oxigenación, pero se debe prestar

mayor atención al transporte entre las fuentes de emisión y almacenamiento. Esta tendencia en investigación y desarrollo en la industria cementera enfocada a la disminución se valida también con el documento desarrollado con la ayuda de la Agencia Internacional de Energía y la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (2010).

También se ha hecho mención de otros temas en investigación y desarrollo como:

- Encontrar nuevos combustibles alternativos que generen menos emisiones de gases de efecto invernadero y que disminuyan el consumo de carbón y combustibles es el nuevo reto de la industria del cemento, que ha encontrado en la valorización de residuos una nueva fuente energética (Cimtan, 2009).
- La reducción en las emisiones debido a la producción de cemento y tecnologías nuevas para la producción de cementos con mejoras en la eficiencia térmica y eléctrica y el uso de combustibles alternativos (IEA y WBCSD, 2009).

Las tendencias actuales en la industria del vidrio son: la energía, el medio ambiente y la estética; estas tendencias han tomado un carácter tan universal que son denominadas “megatendencias” (Finley, 2007). La misma fuente considera lo siguiente en cuanto al desarrollo tecnológico e investigativo en estas megatendencias:

- La industria del vidrio aplica tecnologías en diferente orden de magnitud, desde un tamaño micro, macro y nano.
- Las nuevas tecnologías que emplean la nanotecnología han mejorado la función y el valor del vidrio; estas tecnologías continuarán desarrollando y proveyendo la nueva generación de productos que reducirán los costos de energía de productores y consumidores, traerán beneficios ambientales con la reducción de la producción y el consumo de combustibles fósiles y gases efecto invernadero, y proveerán construcciones acristaladas estéticas con funciones medioambientales. El foco será sobre productos que empleen recubrimientos y vidrios especiales para proveer soluciones; estos incluyen: sistemas espectralmente selectivos, cristales electrocrómicos y sistemas fotovoltaicos.
- El interés por reducir el consumo de energía en construcciones y por lograr estándares medioambientales ha incrementado la demanda de cristales selectivos espectralmente, por lo que esta área ha recibido mayor atención en procesos de investigación y desarrollo.
- Nuevos materiales y tecnologías que combinen funciones electrocrómicas y fotovoltaicas también están siendo investigadas en laboratorios de investigación y desarrollo.

- La industria fotovoltaica conducirá a la mejora de los productos en la industria del vidrio con nuevos sustratos de vidrio, electrodos conductores transparentes y recubrimientos anti-reflectivos que son depositados sobre superficies de vidrio. La eficiencia de las celdas fotovoltaicas depende directamente de las propiedades del vidrio y de los recubrimientos en la superficie del vidrio. En una visión muy simplificada del mundo fotovoltaico, las tecnologías confluyen a dos áreas: las siliconas cristalinas y las películas delgadas fotovoltaicas, cada una de las cuales tiene sus fortalezas y debilidades y posee requerimientos diferentes para productos del vidrio.
- La nueva generación de productos de vidrio para celdas fotovoltaicas tendrá un alto rendimiento en revestimientos multicapas anti-reflectivas aplicados al vidrio para reducir las pérdidas reflectivas en un 50% o más.
- Se espera que los sistemas fotovoltaicos aumenten las aplicaciones directas en la eficiencia energética y en el diseño de construcciones residenciales y comerciales; la tendencia hacia el auto-sostenimiento o las construcciones con “cero” energía están impulsando el concepto de las construcciones fotovoltaicas integradas (*Building Integrated Photovoltaics*, BIPV).

En el tema de nuevos materiales, están considerados como subtemas los biomateriales, los superconductores, los magnéticos, los semiconductores, los materiales inteligentes y funcionales, los nanomateriales y la baja dimensionalidad, los metamateriales, los materiales carbonosos, la catálisis y procesos de superficie y los ferroeléctricos, para un total de diez subtemas. La tabla 25 resume las tendencias y necesidades en investigación en varios de los subtemas mencionados.

Tabla 25. Tendencias y requerimientos en investigación para los nuevos materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Superconductores (a)	<p>Aplicaciones emergentes, presentes y futuras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencial eléctrico: fabricación de transformadores, generadores y condensadores. Los avances en HTS en las dos últimas décadas están dando un nuevo conjunto de herramientas tecnológicas para renovar la infraestructura y para mejorar la capacidad, la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas de alimentación. • Transporte: la incorporación de tecnología superconductor en el diseño de los sistemas de transporte puede mejorar la eficiencia y el desempeño, reducir el peso y el consumo de combustible. Hay iniciativas en investigación con la aplicación de anillos HTS en trenes de levitación magnética que podrían generar menores costos de refrigeración y mayor estabilidad. • Medicina: técnicas avanzadas de imágenes funcionales y estáticas. • Aplicaciones farmacéuticas: la resonancia magnética nuclear (<i>Nuclear Magnetic Resonance</i>, NMR) es una herramienta crítica para la genómica, el descubrimiento de drogas, la biotecnología y la ciencia de materiales. Los superconductores de temperaturas bajas LTS permiten que hayan imanes estables para mayor precisión en la espectroscopia NMR.
Semiconductores	<p>El desarrollo en este sector está determinado por la estructura y los tamaños, ya que las características geométricas se reducen período a período, y el mejoramiento de la funcionalidad está motivado por la miniaturización y por la complejidad de las demandas tecnológicas (b).</p> <p>Retos a corto plazo (hasta el año 2016): ampliación de la lógica y la memoria de los dispositivos. Los retos clave en memoria “flash” de los dispositivos son la no escalabilidad de los túneles dieléctricos, las propiedades de los materiales dieléctricos y el control dimensional; el rendimiento alto y los costos bajos de las tecnologías para las comunicaciones <i>wireless</i>; la litografía y las tecnologías “Mask” y la resistencia, los CD y el control LEFF, la introducción de nuevos materiales para alcanzar niveles altos de conductividad y requerimientos bajos de permitividad dieléctrica y procesos de modelación para estructura de nanómetros (c).</p> <p>Retos a largo plazo (del año 2017 en adelante): identificación, selección e implementación de nuevas estructuras de memoria; materiales resistentes y modelación de propiedades químicas, termo-mecánicas y eléctricas en nuevos materiales (c).</p>
Semiconductores	<p>La litografía óptica ha sido la tendencia que se ha marcado durante los últimos años en el mundo de la impresión; la disminución de las longitudes de onda permitirá una mejor resolución de las imágenes. Se requieren nuevos materiales no solo resistentes sino también que posean mayor resolución, mayor sensibilidad y mayor reducción de la rugosidad; hay una tendencia a la utilización de litografía EUV (<i>Extreme Ultra Violet</i>) y litografía sin máscara (<i>maskless lithography</i>). Para las interconexiones de circuitos integrados, el reto es lograr la reducción del tiempo de entrega de las señales y que estas señales sean de alta fiabilidad; opciones como el cobre requieren que su espesor sea reducido a menos de 2nm lo que es bastante difícil; otra opción importante es la utilización de nanotubos de carbono debido a su baja resistividad y resistencia a la electromigración (c).</p>

Continuación tabla 25. Tendencias y requerimientos en investigación para los nuevos materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Biomateriales	Tendencias en tecnologías: aplicación de recursos renovables, el reciclaje, la reducción del impacto ambiental y la diferenciación en productos sostenibles (d).
	Necesidades en investigación: materiales no nocivos para los tejidos o las actividades biológicas; aplicaciones de materiales metálicos biodegradables con aplicaciones de nanotecnología suave; combinaciones de cerámicas, polímeros orgánicos y aleaciones de magnesio que ayuden a desarrollar mejores materiales (e).
	Uno de los temas clave en la agenda de desarrollo de materiales es la fabricación de andamios que permitan el control en cuatro dimensiones para que las células puedan cambiar su estado de sincronización, diferenciación e inducción, similar al cuerpo biológico (e).
Magnéticos (f)	Magnéticos duros: los imanes permanentes generadores de energía renovable tendrán que tener más avances comparados con los generadores convencionales, si estos pueden ser revolucionados con la utilización de productos con niveles altos de energía de RPM (<i>Rare Earth Permanent Magnets</i>). Las máquinas eléctricas con eficiencia energética, vehículos eléctricos e híbridos demandan el uso de imanes permanentes con alto rendimiento; una forma de aumentar el mercado es desarrollar nuevos imanes permanentes con altos niveles de energía con estabilidad térmica y temperaturas entre 150-250°C.
	Magnéticos suaves: las mejoras en las tecnologías de transporte demandarán materiales magnéticos suaves; los vehículos eléctricos híbridos y con batería se están desarrollando y produciendo de forma incremental, y hay una necesidad de miniaturizar y tener altos niveles de eficiencia en los motores de inducción y en los convertidores de potencia; estos vehículos requerirán avances sustanciales en los materiales.
	Magnetocalóricos: recientemente, un método de refrigeración alternativo ha estado usando la desmagnetización adiabática, o el llamado efecto magnetocalórico, MCE, que ha sido investigado como un medio para conducir las salidas de vapor comprimido en la refrigeración; mientras que los refrigeradores comerciales están en fases de desarrollo, los esfuerzos en investigación para desarrollar nuevos materiales con MCE mejorado se están enfocando en maximizar la capacidad de enfriamiento y la eficiencia energética de esta tecnología.
Materiales inteligentes (g)	Los motores de la investigación en este campo son la ingeniería, con el mejoramiento de estructuras, edificaciones y otros; la reducción de desperdicios, en la electrónica y los alimentos, con nuevas técnicas y características en el desmontaje y el empaquetado, y las aplicaciones en salud, con implantes ortopédicos y biosensores.

Continuación tabla 25. Tendencias y requerimientos en investigación para los nuevos materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Catálisis	<p>Tópicos de investigación propuestos hasta el año 2019: catalizadores heterogéneos nanoestructurados, sistemas catalíticos moleculares, catálisis predictiva y nuevas conversiones catalíticas (h).</p> <p>Retos en investigación: mejorar el diseño de los catalizadores; aún no se sabe con exactitud cuáles materiales son los apropiados para una determinada reacción. Con el uso de las tecnologías computacionales se pueden lograr avances, ir de lo molecular a lo complejo; los catalizadores permiten producir materiales de formas diferentes y efectivas, el reto es producir moléculas de forma eficiente y bajo mejores condiciones; de los procesos a los dispositivos, se requieren avances en microelectrónica y tecnología de sensores para reducir las instalaciones en los procesos químicos y en la producción de materiales con precisión nanométrica (h).</p>
Catálisis	<p>En los sectores farmacéutico y químico, se requieren procesos robustos, amigables con el medio ambiente y seguros, que sean fuerzas conductoras en la investigación de catalizadores (i)</p>
Nanomateriales (j)	<p>Áreas de interés en nanotecnología: materiales, salud y energía.</p>
Metamateriales (k) Semiconductores	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitarán en el futuro los sistemas dinámicos cuánticos, ofreciendo aplicaciones que aún no se han imaginado. • Prometen nuevas funcionalidades como la invisibilidad y las imágenes con resolución ilimitada. La próxima etapa de desarrollo será el uso generalizado de activos metamateriales para aplicaciones en detección y energía. • Los metamateriales conmutables y sintonizables y las aplicaciones en sensoría se perfilan como áreas de investigación de rápida expansión. • El grafeno promete adicionar capacidad electro-óptica a los metamateriales. • Se requieren nuevas técnicas para lograr perfección en nanoestructuras, sin que sean costosas. Se necesita avanzar en la electro-litografía, enfocada en el fresado iónico de haces (ion beam milling) y en la nano-impresión. • Otra área promisoría es la proyección litográfica de membrana (<i>membrane projection lithography</i>), que permite la creación de células unitarias de metamaterial con inclusiones de metal. • El progreso real en metamateriales fotónicos requerirá nuevas técnicas, entre las que se incluyen los enfoques en bioingeniería como las cadenas DNA o la cristalización proteínica para la fabricación de superredes de nanopartículas, el auto-ensamblaje de puntos cuánticos semiconductores y nanocristales magnéticos, o la fundición de nanoestructuras metálicas alrededor de marcos de líquido cristalino y coloidales.

Continuación tabla 25. Tendencias y requerimientos en investigación para los nuevos materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Metamateriales (k) Semiconductores	<ul style="list-style-type: none"> La tendencia actual es pensar los metamateriales como dispositivos, donde la estructura de metal y la hibridación con agentes funcionales traerá nuevas funcionalidades y la respuesta será sintonizable, conmutable o no lineal. En el futuro cercano se entrará en el campo de los metamateriales cuánticos.

Fuente: elaborado a partir de (a) CCAS, IEEE y CSC (2009), (b) Price Water House Coopers (2009), (c) ITRS (2009), (d) Harlin (2010), (e) Kikuchi y Kanama, (2007), (f) Gutfleisch *et al.* (2011), (g) Parliamentary Office of Science and Technology (2008), (h) NRSC- Catalysis (2009), (i) Platinum Metals Review (2010), (j) EU Nanoroadmap (Kanama, 2007), (k) Zheludev (2011).

Respecto a los nanomateriales y la baja dimensionalidad, cabe resaltar que en el campo de la medicina los nanomateriales podrían clasificarse en cuatro tipos: los materiales carbonosos, los materiales metálicos, los dendrímeros y los compuestos. Se espera que los materiales nanoestructurados sobrepasen cuatro fases: la primera generación (~2004-2010), codificada como la generación pasiva de la nanoestructura; la segunda generación (~2005 en adelante), codificada como la generación activa de la nanoestructura, con alto desarrollo en nanocompuestos, cerámicos y metales; la tercera generación (~2012 en adelante), con avances en robótica, en dispositivos, en redes 3D, en materiales biomiméticos y otros; y la cuarta generación (~2018 en adelante) se especializará en diseños molécula a molécula y en capacidades de auto-ensamblaje, como los sistemas de películas de grafito y los sistemas nano-electromecánicos (NEMS) que han sido potencialmente más compatibles con la biología. En el desarrollo fisiológico de las redes neuronales, los nanotubos de carbón fabricados con grafito son útiles en el diseño y la fabricación de nuevos biomateriales neurales; los mayores retos en esta dirección son: la pobre adherencia de AP-MWNT²², el uso de sustratos de vidrio cubiertos con AP-MWNT que deberían ser reproducibles en términos del crecimiento de neuritas y de la cinética de elongación (Majumder *et al.*, 2007).

En varios países asiáticos se han hecho estudios Delphi²³ en nanotecnología y materiales. La tabla 26 muestra los temas de investigación considerados de acuerdo con estudios Delphi en Japón, China y Taiwan (Su y Lee, 2008).

22 AP-MWNT: As-Produced Modified Multiwalled Nanotubes (nanotubos de pared múltiple modificados).

23 El método Delphi se ha convertido en una herramienta popular en investigación para identificar y priorizar asuntos en la toma de decisiones de carácter administrativo y estratégico. Se originó con los estudios de la Corporación Rand en 1950 con el objetivo de obtener el consenso de un grupo de expertos sobre ciertos temas de interés (Rowe y Wright, 2011).

Tabla 26. Subdominios de investigación en previsiones para tecnologías en materiales y nanotecnología de acuerdo con estudios Delphi en Japón, Taiwan y China

País:	Campo de investigación/subdominios	
Japón (NISTEP)	Nanotecnología y material	
	Simulación y modelación en nanomateriales	Tecnologías para nano-procesamiento y fabricación
	Tecnologías para mediciones y análisis nano	Tecnología NEMS
	Tecnologías de síntesis y procesamiento en materiales	Nano-dispositivos y sensores
	Nuevos materiales de control de estructura a nanonivel	Materiales en medio ambiente y energía
	Nanobiología	Nanociencia para una sociedad segura
Taiwan (STPI)	Nanotecnología	
	Nanomateriales	Comunicación nano optoeléctrica y óptica
	Fabricación de nanopolvos	Nanoalmacenamiento
	Fabricación de nanoplantillas	Técnicas de nanodispositivos
	Técnicas de nano-autoensamblaje	Técnicas nanobiomédicas
	Técnicas de nanocompuestos	Técnicas de análisis nanobiomédico
	Simulación de nanoestructuras y procesos	Técnicas de medición nanobiomédico
	Técnicas de nanoelectrónica y semiconductores	Técnicas de material nanobiomédico
	Nonoelectrónica	Técnicas de nanobiomedicina
China – MST (NRCSTD)	Nuevos materiales	
	Alto rendimiento en la estructura del material	Información electrónica en materiales
	Nuevas funciones en el material	Nanomateriales
China- CAS (IPM)	Ciencia de los materiales	
	Material polimérico	Material funcional
	Material metálico	Material fotoelectrónico
	Material inorgánico y cerámico	Nanomaterial
NISTEP: National Institute of Science and Technology Policy MST: Ministry of Science and Technology NRCSTD: National Research Center for Science and Technology for Development CAS: Chinese Academy of Sciences, IPM: Institute of Policy and Management STPI: Science and Technology Policy Research and Information Center		

Fuente: Su y Lee (2008).

De manera individual, de la tabla 27 a la tabla 29 se muestran las diez previsiones tecnológicas más importantes para China, Japón y Taiwan en nanotecnología y materiales a partir de los estudios Delphi, donde cabe destacar que para los años 2020-2025 China buscará expandir la industria de materiales a los campos de la electrónica y la información, y posiblemente a la energía; Japón se enfocará en técnicas de manipulación a nano-escala para sostener su superioridad, y Taiwan continuará con su competitividad en el hardware de información y en la industria electrónica (Su y Lee, 2008).

Tabla 27. Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en nanotecnología para Taiwan

Puesto	Técnicas	Puesto	Técnicas
1	Técnicas de grabación de discos	6	Escritura óptica/técnica de lectura magnética
2	Nanotécnicas de recubrimiento	7	Técnicas de nanopartículas antibacterianas TiO ₂
3	Técnicas de epitaxia y medición	8	Técnica de fabricación de nanocompuestos poliméricos
4	Preparación y métodos de detección de partículas nanofluorescentes	9	Síntesis de sustrato polimérico en materiales ópticos
5	Proceso de aplicación de polímero de película fina óptica	10	Técnicas para la vinculación biológica y molecular de nanopartículas

Fuente: Su y Lee (2008).

Tabla 28. Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en investigación en ciencia de los materiales para China

Puesto	Técnicas	Puesto	Técnicas
1	Desarrollo de materiales para celdas solares con ratios de conversión mayores al 50%	6	Aplicación de la técnica de luz blanca de semiconductores
2	Aplicación a gran escala de material metálico ligero y resistente	7	Aplicación práctica del material de almacenamiento de hidrógeno
3	Aplicación a gran escala de caucho de alto rendimiento	8	Aplicación práctica de almacenamiento de materiales y dispositivos de alta densidad de almacenamiento magnético
4	Aplicación amplia de la técnica para la síntesis de polímeros a partir de recursos no fósiles	9	Avance de la producción de hidrógeno del agua

Continuación tabla 28. Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en investigación en ciencia de los materiales para China

Puesto	Técnicas	Puesto	Técnicas
5	Aplicación amplia de materiales orgánicos foto-electrónicos	10	Aplicación amplia de material orgánico y de cerámico en transductores micro-multi-funcionales e inteligentes

Fuente: Su y Lee (2008).

Tabla 29. Listado de las diez técnicas competitivas más importantes en investigación de materiales y nanotecnología para Japón

Puesto	Técnicas	Puesto	Técnicas
1	Tecnología de producción y procesamiento capaz de regular dimensiones y formas con precisión nanométrica	6	Sistemas nanotransportadores que proporcionan las drogas en células del cuerpo y que sean dirigidos por señales externas
2	Áreas superiores de celdas solares amorfas de silicio con eficiencia de conversión por encima del 20%	7	Superconductores con puntos de transferencia a temperatura ambiente y superior
3	Procesos de producción de hidrógeno por descomposición fotocatalítica de agua con luz solar	8	Fabricación de materiales con estructura a nanoescala y características especificadas a través de la auto-organización
4	Sistemas de diagnóstico por biochip para el riesgo de aparición de cáncer y otras enfermedades graves	9	Métodos de escaneo que permitan composición fija y medición cuantitativa de propiedades en escala nanométrica
5	Tecnología tridimensional de envasado en escala nanométrica	10	Procesos de síntesis de macromoléculas que empleen recursos renovables en lugar del procesamiento petroquímico convencional

Fuente: Su y Lee (2008).

En el campo de la nanofotónica, los nanomateriales que tendrán mayor impacto entre los años 2011 a 2015 son: los puntos cuánticos y los cables de silicio III-V y II-VI, las nanoestructuras plasmónicas, el alto índice de contraste de silicio y nanoestructuras III-V, los nanotubos de carbono, la integración de la electrónica con la fotónica y las nanopartículas en vasos o polímeros (Merging Optics y Nanotechnologies, MONA, 2008).

En el tema de procesamiento de materiales se consideran los subtemas de ingeniería de superficies, reutilización de sobrantes, procesos de manufactura y residuos y

tecnologías limpias. La tabla 30 resalta algunas de las necesidades de investigación encontradas.

Tabla 30. Tendencias y requerimientos en investigación para el procesamiento de materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Ingeniería de superficies (a)	<p>Áreas de investigación:</p> <p>Manufactura: con campos de investigación como i) tecnologías láser en ingeniería de superficies, ii) tecnologías termoquímicas, iii) tratamiento de superficies de polímeros, iv) modelado y adición de computadoras en ingeniería de superficies, v) impacto de las condiciones climáticas en las propiedades de la superficie en ingeniería de materiales.</p> <p>Producto: con campos de investigación como i) ingeniería de superficies en biomateriales, ii) ingeniería de superficies de materiales de estructura metálica, iii) ingeniería de superficies de materiales de estructura no metálica, iv) ingeniería de superficies de materiales para herramientas, v) ingeniería de superficies de materiales funcionales, vi) ingeniería de superficies de nanomateriales, vii) ingeniería de superficies de materiales poliméricos.</p>
Reutilización de residuos y sobrantes (b)	<p>Investigación en técnicas que permitan lograr desarrollo minero sostenible:</p> <p>El procesamiento de desechos de minería y minerales debe ser administrado de tal manera que los desechos permanezcan física, geográfica, química y radiológicamente estables.</p> <p>Los desechos de la minería y el procesamiento de minerales que interactúan con el medio ambiente deberían ser inertes.</p> <p>Los desechos de la minería y el procesamiento de minerales que no sean inertes, deberían ser aislados.</p> <p>Los desechos deben ser contenidos y delimitados geográficamente buscando limitar la interacción de estos con el medio ambiente.</p>
Procesos de manufactura	<p>Potencial investigativo en temas como: procesamiento y manipulación de nuevos materiales, incorporación de materiales inteligentes en componentes de procesos tecnológicos, combinación de nuevos materiales en sistemas microeléctricos, mecánicos o adaptónicos, exploración de nuevo conocimiento en modelación y computación de alto poder para la simulación de desarrollo de productos, desempeño de materiales y experimentos virtuales (c).</p>

Continuación tabla 30. Tendencias y requerimientos en investigación para el procesamiento de materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Procesos de manufactura	<p>Retos (d):</p> <p>Proveer tecnologías de procesos de manufactura del metal innovadores que tengan el potencial de mejorar significativamente los métodos de manufactura existentes. Esto se vuelve posible al usar estructuras primarias y secundarias eficientes, crio tanques, entre otros.</p> <p>Desarrollar procesos para compuestos avanzados. Procesos de bajo costo para compuestos de bajo peso, multifuncionales, flexibles, con altas tasas de producción.</p> <p>Introducir nuevos materiales y métodos para fabricar estructuras en el espacio.</p> <p>Desarrollo y creación de nuevos métodos de manufactura, adaptabilidad de estructuras, vigilancia de la integridad de los materiales y auto-reparación de los mismos.</p> <p>Procesos de manufactura de elementos electrónicos y ópticos.</p> <p>Nuevos materiales y procesos para mejorar la eficiencia de dispositivos; para citar un ejemplo, puede hablarse de la próxima generación de celdas solares.</p> <p>Mejoramiento en la producción de sistemas ópticos para producir materiales livianos de bajo costo que puedan usarse en telescopios.</p> <p>Procesos confiables de manufactura de elementos electrónicos que puedan operar en condiciones extremas de temperatura y radiación.</p> <p>Diseño y manufactura sostenible para materiales, que minimice los efectos negativos sobre el ambiente.</p> <p>Desarrollo de tecnología para sistemas de potencia de alta eficiencia; para esto se hace necesario la combinación de materiales avanzados y técnicas de procesamiento de materiales que impacten todo el sector de la energía.</p>
Tecnologías limpias (e)	<p>Énfasis en necesidades como:</p> <p>Materiales con nuevas propiedades para el consumo de menores cantidades de energía en los procesos de producción y en su funcionamiento.</p> <p>Materiales y tecnología para sistemas de producción de energía eficientes (como las celdas fotovoltaicas).</p> <p>Bioteología como tecnología amigable con el medio ambiente; es de vital importancia el desarrollo de materiales orgánicos y de procesos biológicos.</p> <p>Estudio de los efectos medioambientales de la infraestructura de las TIC, lo que puede implicar la sustitución de algunos materiales peligrosos que están envueltos en la fabricación de productos electrónicos.</p> <p>La industria de la impresión ha tenido significativos avances en las últimas décadas; su evolución permitiría la posibilidad de imprimir imágenes en tercera dimensión o requerir el desarrollo de materiales biológicos que funcionen como tejidos humanos.</p> <p>Investigaciones sobre materiales alternativos para la impresión de tarjetas de circuito basadas en recursos renovables como lignina y termoplásticos.</p> <p>Introducción de herramientas de diseño (como software) que tengan menús ambientales, es decir, que puedan medir el impacto de usar ciertos materiales y permitan brindar opciones más amigables con el medio ambiente para el desarrollo de productos.</p>

Continuación tabla 30. Tendencias y requerimientos en investigación para el procesamiento de materiales

Subtema	Tendencias y requerimientos en investigación
Tecnologías limpias (e)	<p>Optimización de la topología de los productos; esto puede implicar menos consumo de materiales.</p> <p>Desarrollo de sistemas de comunicación inalámbrica; se disminuye el uso de materiales escasos, como el cobre del cableado usado para las comunicaciones.</p> <p>Para el control, la automatización y el movimiento de robots es necesario avanzar en el uso de actuadores basados en polímeros y elastómeros dieléctricos que puedan ser construidos en escalas micro y macro y que puedan reemplazar actuadores convencionales como motores eléctricos, hidráulicos y neumáticos, mejorando la eficiencia y disminuyendo el consumo de energía.</p> <p>La miniaturización de productos podría no implicar la disminución en el consumo de recursos, pero sí podría demandar el desarrollo de materiales de pequeña dimensión y alta calidad.</p> <p>Desarrollo de nuevos biomateriales y fabricación de materiales con impacto ambiental reducido.</p> <p>Reemplazo de plásticos fósiles por materias primas renovables. Producción de biocombustibles o bioplásticos, sustituyendo los combustibles fósiles.</p> <p>Modificación de propiedades eléctricas y magnéticas en materiales con aplicaciones nanotecnológicas, como alternativa eficiente. También es importante lograr desarrollos en nanometrología y materiales nanoestructurados.</p> <p>Desarrollo de materiales para celdas de combustible, supercapacitores y superconductores, para procesos de conversión y uso de la energía.</p> <p>En el procesamiento y la transmisión de información es necesario lograr desarrollo en materiales para pantallas y componentes nanoelectrónicos como semiconductores.</p> <p>Para nanosensores y nanoactuadores es preciso desarrollar capas metálicas ultra delgadas. Esto puede implicar la necesidad de un uso menor de materiales y un incremento en la calidad de los mismos.</p> <p>La investigación en nanopolímeros podría reemplazar la demanda de metales raros.</p> <p>En el campo de los materiales nanoporosos hay potencial en aplicaciones como catálisis, almacenamiento de gas, separación de gas y síntesis química, lo cual puede contribuir a mejorar la eficiencia de dichos procesos.</p> <p>El desarrollo y uso de materiales nanoparticulados y nanofibrosos puede tener importancia en procesos de floculación.</p> <p>Los materiales biomiméticos pueden desarrollarse profundizando en el estudio de mecanismos fundamentales de biomineralización.</p> <p>En la producción de hidrógeno y celdas de combustible deben desarrollarse mecanismos de almacenamiento de hidrógeno en materiales nanoporosos y materiales baratos para los electrodos.</p> <p>Para aprovechar el potencial ecoambiental de la nanotecnología es importante desarrollar nanocompuestos que sean livianos, fuertes, degradables y que provengan de materias primas renovables.</p>

Fuente: Elaboración a partir de (a) Dobrzaska-Danikiewicz (2009), (b) Franks *et al.* (2011), (c) NASA (2010), (d) Sogaard Jorgensen *et al.* (2006).

En la actualidad, se demanda cada vez con más frecuencia fuentes de energía limpia a bajos precios; esto requiere avances en la ciencia y tecnología de materiales con el objeto de cumplir las exigencias de desempeño de los nuevos sistemas de generación. Para la industria del carbón se hace vital extraer la máxima cantidad de energía posible de cada tonelada de carbón; el incremento de la eficiencia y la reducción del impacto ambiental en este proceso exigen sistemas operando a altas temperaturas y presiones. Es necesario entonces desarrollar materiales de construcción que resistan condiciones de operación agresivas y que a la vez garanticen seguridad en los procesos. Estos materiales deben resistir en plantas de generación presiones de hasta 34 MPa y temperaturas entre los 560 y 650°C (Powell y Morreale, 2008).

Área 3. Recursos naturales no renovables y medio ambiente

La tercera y última área contempla los temas de prospección, exploración y explotación de recursos, medio ambiente y sociedad, y beneficio y transformación de minerales; los hallazgos encontrados se describen en la tabla 31.

Tabla 31. Tendencias y requerimientos en investigación en recursos naturales no renovables y medio ambiente

Tema	Tendencias y requerimientos en investigación
Prospección, exploración y explotación de recursos	Se requiere desarrollar tecnologías que habiliten la extracción comercial de recursos de los pisos oceánicos; para ello es necesario investigar las condiciones geográficas y geológicas de los pisos oceánicos para obtener información detallada sobre los recursos en alta mar (a).
	En Japón se tienen prioridades en investigación como (b): <ul style="list-style-type: none"> • Elucidación de la estructura del interior de la tierra: i) el comportamiento dinámico del interior de la tierra usando buques de perforación en aguas profundas y ii) alta precisión en la inspección de la corteza efectiva para la delineación de la plataforma continental. • Desarrollo de tecnologías oceánicas: i) perforación de la cama rocosa para la delineación de la plataforma continental, ii) exploración y desarrollo recursos petroleros y gas natural, iii) exploración y desarrollo de recursos minerales en el fondo del mar, iv) investigación en el uso de hidrato de metano, y v) desarrollo de tecnologías elementales para plataformas oceánicas.
	Núcleos estratégicos en tecnologías de exploración según Exxon Mobil (c): <ul style="list-style-type: none"> • Sísmica: la utilización de ondas acústicas, naturales y producidas por el hombre, para obtener la imagen geológica subyacente, ha sido una herramienta clave para el éxito en la exploración. Hay alto potencial para lograr avances técnicos en las áreas de tecnologías de alta densidad de adquisición facilitados por avances en el procesamiento rápido de datos; esto podría mejorar significativamente la resolución sísmica de subsales complejas, sutiles características geológicas o de profundidad.

Continuación tabla 31. Tendencias y requerimientos en investigación en recursos naturales no renovables y medio ambiente

Tema	Tendencias y requerimientos en investigación
<p>Prospección, exploración y explotación de recursos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de electromagnetismo controladas: usa el contraste de resistividad entre los hidrocarburos saturados y embalses de agua saturada para identificar subsuperficies de acumulación de hidrocarburos. Se mencionan dos mejoras clave: i) desarrollo de modelado rápido en 3D e inversión para reducir el número de “anomalías” erróneamente identificadas y ii) extensión de las tecnologías a aguas poco profundas. • Tecnología de interpretación: dos avances que pueden convertirse en significativos son: i) lograr una mejor integración de datos geofísicos y geológicos para desarrollar interpretaciones cuantitativas y ii) desarrollar motores de búsqueda sísmica para interrogar por el incremento de los volúmenes de datos. • Modelado de sistemas terrestres: el modelado de sistemas naturales de formación de cuencas, llenado y migración de fluidos se está incrementando recientemente. Avances en el modelado de sistemas terrestres más integrados junto con la captura de incertidumbres en escenarios potenciales y parámetros podría ayudar significativamente en la identificación de nuevos jugadores. • Medidas de sub-superficie: mediciones de las propiedades de subsuperficie (tipos de fluidos, porosidad, permeabilidad, temperatura, entre otros) son cruciales para el éxito de la exploración. Avances en tipo de sensores, durabilidad, sensibilidad y despliegue podrían impactar los programas de exploración significativamente. <p>Tecnologías auxiliares que pueden tener el potencial de impactar significativamente los resultados de la exploración: nanotecnología, tecnología computacional y tecnologías de perforación (a).</p> <p>Retos en (b):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geofísica: hay problemas con la determinación de la permeabilidad a medida que se avanza en profundidad; determinar estos cambios sin la necesidad de perforar sería un avance significativo.
<p>Prospección, exploración y explotación de recursos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geoquímica: debe ponerse a prueba y refinarse la tecnología de geotermómetro, ya que la información obtenida a partir de esta resulta inadecuada y es incapaz de explicar los resultados de laboratorio inconsistentes. • Geología: existen retos relacionados con la geotérmica, más precisamente con el contexto tectónico de los lugares, la configuración de estructuras y sus detalles y la permeabilidad a escalas profundas <p>Necesidades tecnológicas como (c):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejores modelos multi-físicos para extender el uso de la geofísica a la determinación de la permeabilidad. • Mejoramiento de datos termodinámicos para la próxima generación de geotermómetros. • Desarrollo de geotermómetros que reflejen con precisión configuraciones litológicas y tecnológicas, además de la identificación de nuevos termómetros. • Sensado de remoto de alta resolución y métodos de procesamiento automáticos de alta confiabilidad. • Técnicas de modelado 3D. • Modelos conceptuales multidisciplinarios.

Continuación tabla 31. Tendencias y requerimientos en investigación en recursos naturales no renovables y medio ambiente

Tema	Tendencias y requerimientos en investigación
Medio ambiente y sociedad	<p>Métodos y tecnologías de medición avanzada están siendo usadas en bioprocesos de producción de químicos y de nuevos materiales con propósitos de control de calidad en la industria de la comida y en estudios sobre el estado del medio ambiente. En la industria, por ejemplo, nuevas tecnologías de medición son necesarias como ocurre en el caso de la producción de bioenergía (d).</p> <p>Para poder continuar con la operación minera es necesario concretar esfuerzos relacionados con el desarrollo de métodos eficientes y limpios de producción, minería de bajo impacto y operaciones de procesamiento (e).</p>
Beneficio y transformación de minerales (i)	<p>Las prioridades para el desarrollo y la investigación para minas de carbón y oro se resumen en:</p> <ul style="list-style-type: none"> Automatización, robótica y control relacionados con los procesos mineros y metalúrgicos. Refrigeración, ventilación y aislamiento. Equipo de minería y métodos. Transporte. Tecnologías de la información. Procesamiento de minerales. Salud y seguridad. Generación de valor agregado en mineralurgia y metalurgia. Técnicas avanzadas de exploración. <p>En la industria del aluminio, algunas áreas de desafío principales en la industria del reciclaje y tratamiento del aluminio son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mejorar la recuperación de componentes de aluminio usado para el reciclaje. Automatizar y mejorar los procesos de trituración y clasificación del aluminio. Ampliar la gama de aleaciones de aluminio que derive en productos de calidad cuando estos son elaborados con aluminio reciclado.

Fuente: Elaborado a partir de (a) National Petroleum Council (2006), (b) National Technical Working Group (2009), (c) U.S. Department of Energy (2011), (d) Cofisa (2009), (e) Upstill y Hall, (2006).

Anexo 3. Expertos de la Agenda CTMM

Los docentes que aceptaron la invitación de la Vicerrectoría de Investigación para hacer parte del grupo de expertos de la Agenda CTMM se presentan en la tabla 32. Si bien algunos de ellos no pudieron participar activamente en la elaboración y validación del documento de la agenda, su presencia en los encuentros realizados (virtuales o presenciales) fue altamente valiosa para la definición del árbol de conocimiento, la visión a futuro, entre otros aspectos.

Tabla 32. Expertos de la Agenda CTMM

Nombres y apellidos	Sede	Perfil académico
<p>Andrés Rosales Rivera*</p> <p>arosalesr@unal.edu.co</p>	<p>Manizales: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales</p>	<p>Doctor en Física de la Universidade Federal de Pernambuco. Magister en Física de la Universidad del Valle. Físico de la Universidad del Valle. Sus áreas de investigación activas son: 1. Magnetismo, materiales magnéticos y sus aplicaciones: experimentos, simulación, modelos estadísticos y teoría. 2. Análisis de propiedades eléctricas, magnéticas, térmicas y ópticas de materiales. 3. Electricidad y magnetismo en sistemas biológicos. 4. Geomagnetismo. 5. Nanoestructuras semiconductoras. 6. Física de alimentos.</p>
<p>Carlos Guillermo Paucar Álvarez*</p> <p>cgpaucar@unal.edu.co</p>	<p>Medellín: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor en Química Inorgánica y Analítica de la Universidad Autónoma de Madrid. Magister en Ciencia y Tecnología del Carbón. Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Profesional en Tecnología Química de la Universidad de Antioquia. Sus áreas de investigación activas son: i) procesamiento cerámico, ii) cerámica avanzada, iii) recubrimientos, iv) vidrios y vitrocerámicos, y v) nanotecnología.</p>

Continuación tabla 32. Expertos de la Agenda CTMM

Nombres y apellidos	Sede	Perfil académico
<p>Carlos Vargas Hernández cvargash@unal.edu.co</p>	<p>Manizales: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales</p>	<p>Realizó pos-doctorado con la Universidad de Texas. Doctor en Física del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Magíster en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira. Magíster en Ingeniería y Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Magíster en Física de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Físico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Sus áreas de investigación activas son: i) optoelectrónica y propiedades ópticas de semiconductores, ii) semiconductores magnéticamente diluidos, iii) crecimiento por técnicas de depósito químico, iv) caracterización estructural y morfológica de semiconductores, v) síntesis y caracterización de nano-partículas para aplicaciones biomédicas y vi) espectroscopía RAMAN.</p>
<p>Carlos Alberto Vargas Jiménez* cavargasj@unal.edu.co</p>	<p>Bogotá: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor y magíster en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica de Catalunya. Magíster en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira. Geólogo de la Universidad de Caldas. Sus áreas de investigación activas son: i) geometría de la subducción de la placa de Nazca en el suroeste de Colombia – implicaciones tectónicas y sísmicas; ii) tomografía anelástica de ondas coda para propósitos geotécnicos; aspectos numéricos e instrumentales: diseño e implementación de un geotomógrafo.</p>
<p>César Javier Vinasco Vallejo* cvinasco@unal.edu.co</p>	<p>Medellín: Facultad de Minas</p>	<p>Doctor y magíster en Geociencias (Geoquímica y Geotecnia) de la Universidad de Sao Paulo. Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Las líneas en que investiga actualmente son: i) geología regional, ii) geología estructural y iii) geocronología y geología isotópica.</p>
<p>Jairo Arbey Rodríguez Martínez* jarodriguezm@unal.edu.co</p>	<p>Bogotá: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor y magíster en Física de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Físico de la misma universidad. Actualmente investiga en materia condensada y biomateriales.</p>
<p>Jairo Roa Rojas* jroar@unal.edu.co</p>	<p>Bogotá: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor en Física de la Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Magíster en Física de la Fundação Universidade de Brasília. Físico de la Universidad Industrial de Santander. Desempeña labores investigativas en las siguientes áreas: i) nuevos materiales, ii) superconductividad, iii) magnetismo, iv) estructura microscópica de materiales sólidos, v) propiedades termodinámicas de los sólidos, vi) propiedades mecánicas de los sólidos y vii) propiedades de magnetotransporte en sólidos.</p>

Continuación tabla 32. Expertos de la Agenda CTMM

Nombres y apellidos	Sede	Perfil académico
<p>Janneth Torres Agredo* jtorresa@unal.edu.co</p>	<p>Palmira: Facultad de Ingeniería y Administración</p>	<p>Doctora en Ingeniería de la Universidad del Valle. Ingeniera de Materiales y tecnóloga de Laboratorio químico de la misma universidad. Sus líneas activas de investigación son: i) corrosión y durabilidad de materiales y ii) nuevos materiales compuestos y materiales alternativos.</p>
<p>Jhon Jairo Olaya Flórez jjolayaf@unal.edu.co</p>	<p>Bogotá: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor del Instituto de Investigaciones en Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Magister de la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Libre de Colombia. Actualmente dedica sus labores investigativas a: i) técnicas de caracterización, ii) nuevos materiales, iii) corrosión, iv) recubrimientos duros, de alta resistencia al desgaste y a la corrosión, y v) metalurgia física.</p>
<p>Juan Carlos Molano Mendoza jcmolanom@unal.edu.co</p>	<p>Bogotá: Facultad de Ciencias</p>	<p>Magíster en Geología de la Universidad de Tokio. Geólogo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Actualmente investiga en: i) caracterización tecnológica de materiales y ii) génesis de depósitos minerales.</p>
<p>Juan Manuel Vélez Restrepo* jmvelez@unal.edu.co</p>	<p>Medellín: Facultad de Minas</p>	<p>Doctor y magíster en Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Sao Paulo. Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Actualmente realiza investigaciones en: i) tribología, ii) ciencia de los materiales y iii) materiales vegetales: microestructura y propiedades.</p>
<p>Óscar Jaime Restrepo Baena* ojrestre@unal.edu.co</p>	<p>Medellín: Facultad de Minas</p>	<p>Post-doctorado en Investigación básica en pigmentos inorgánicos de Nubiola S.A. Doctor en Materiales de la Universidad de Oviedo. Magíster en Evaluación de Impactos Ambientales de la Universidad de Málaga. Ingeniero de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Sus líneas de investigación activas son: i) procesos de alta temperatura, ii) materiales cerámicos y vítreos, iii) pigmentos, iv) cementos, v) beneficio de minerales, vi) caracterización de minerales y vii) nanotecnología.</p>
<p>Pablo Abad Mejía* pdjabad@unal.edu.co</p>	<p>Medellín: Facultad de Ciencias</p>	<p>Doctor en Física Aplicada de la Universidad Autónoma de Madrid. Magíster en Física de la Universidad de Puerto Rico. Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Sus áreas de investigación activas son: i) nuevos materiales cerámicos y vítreos, ii) vidrios con propiedades ópticas selectivas y iii) recubrimientos funcionales vía sol-gel.</p>

*Docente que participó en la elaboración del documento general de la Agenda CTMM
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Integrantes de los diferentes equipos de trabajo que apoyan el Proyecto Agendas de Conocimiento

Existen varios equipos de trabajo involucrados como apoyo al proceso de soporte de la información, la construcción y la conceptualización del Proyecto Agendas de Conocimiento. En total, se cuenta con unas cincuenta personas vinculadas al proyecto, 15 de ellos docentes, 27 estudiantes auxiliares, 14 de pregrado y 13 de posgrado, así como 2 profesionales y 5 funcionarios de apoyo. A continuación se mencionan las personas involucradas en cada uno de los equipos.

Tabla 33. Integrantes equipo de apoyo logístico y coordinación

Nombres	Equipo
Adriana del Pilar Sánchez Vargas	Apoyo conceptual coordinación
Edwin Güiza	Vigía de apoyo general
Pedro Amaya	Apoyo logístico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Integrantes equipo técnico de gestión de la información VRI

Nombres	Equipo
Jenny Marcela Sánchez Torres	Profesora asociada - asesora VRI, coordinadora equipo técnico gestión de la información
Carlos Alberto Rodríguez Romero	Profesor asociado, Grupo Griego
Carlos Andrés Morales M.	Profesional universitario
Sloan Moreno Rodríguez	Profesional universitario

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Vigías de la Agenda CTMM

Nombres	Período de vinculación
Diana Carolina Ríos Echeverri	Agosto de 2011 - Septiembre de 2012
Ferneý Alejandro Mesa Palacio	Diciembre de 2011 - Mayo de 2012
Daniel Gutiérrez Restrepo	Agosto de 2010 - Enero de 2011
Alba Paola Valencia Ricardo	Marzo de 2011- Octubre de 2011

Fuente: Elaboración propia.

Agenda:

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y MINERALES

Se terminó de imprimir 500 ejemplares en el mes de diciembre de 2013 en los talleres de Javegraf, calle 46 No. 82-54 Int. 2, Bogotá D. C., Colombia. En su diagramación se utilizaron caracteres Kabel Bk BT. Se utilizó papel Propalmate de 90 gramos y, en la cubierta, papel Propalcote de 240 gramos.



Las Agendas de Conocimiento son el resultado de una iniciativa incluida dentro del Plan de Desarrollo 2010-2012 de la Universidad Nacional de Colombia, que buscó, a través de una construcción colectiva de la comunidad académica, plantear horizontes sobre el direccionamiento del conocimiento generado en la Universidad aplicado a las realidades nacionales e internacionales. En dichos instrumentos se consolida, para doce áreas de conocimiento interdisciplinar, un diagnóstico de las capacidades con que cuenta la Universidad y de sus perspectivas futuras de desarrollo.

Las Agendas de Conocimiento son uno de los insumos básicos para consolidar el **Sistema de Investigación de la Universidad Nacional (SIUN)** en el marco del Plan de Desarrollo 2013-2015, y son fundamentales en el proceso de articular las potencialidades de trabajo de la Universidad con los requerimientos de la sociedad en términos de aportar soluciones a sus problemáticas. Estas Agendas han facilitado, entre otras acciones, la activa participación de la Universidad en el desarrollo de proyectos financiados por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías. De la misma forma se han convertido en una herramienta muy útil para que la Universidad contribuya a generar políticas públicas.

Alexánder Gómez Mejía

Vicerrector de Investigación

(2012-2014)



Plan Global de Desarrollo 2010-2012

Plan Global de Desarrollo 2013-2015



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA**

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN