

Prospectiva UN

Agendas de Conocimiento



03

BIOTECNOLOGÍA

un #  en investigación

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

Agenda:
BIOTECNOLOGÍA

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

Agenda: BIOTECNOLOGÍA

Autores:

Profesores - Grupo de expertos participantes
Alejandro Chaparro Giraldo
Carlos Ariel Cardona Alzate
Carlos Eduardo Orrego Alzate
Francisco Cristóbal Yepes Rodríguez
Liliana Serna Cock
Sonia Amparo Ospina Sánchez

Coordinación metodológica:

Profesor Johnny Alexander Tamayo Arias



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Bogotá, 2013

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Chaparro Giraldo, Alejandro, 1958 - Agenda : biotecnología / Grupo de expertos participantes Alejandro Chaparro Giraldo... [y otros cinco] ; coordinación metodológica Johnny Alexander Tamayo Arias. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación, 2013. 136 páginas : ilustraciones – (Agendas de conocimiento) Incluye referencias bibliográficas

SBN : 978-958-761-571-5 (rústica) – ISBN : 978-958-761-570-8 (impresión bajo demanda) – ISBN : 978-958-761-572-2 (e-book)

1. Educación superior - Planificación - Colombia - 2010-2012 2. Investigación y desarrollo - Enseñanza superior - Colombia - 2010-2012 3. Estrategías para el desarrollo - Investigaciones 4. Gestión del conocimiento 5. Biotecnología 6. Diversidad biológica 7. Política pública - Enseñanza superior – Colombia

I. Cardona Alzate, Carlos Ariel, 1970 - II. Orrego Alzate, Carlos Eduardo, 1955- III. Yepes Rodríguez, Francisco Cristobal, 1944- IV. Serna Cock, Liliana V. Ospina Sánchez, Sonia Amparo, 1958- VI. Tamayo Arias, Johnny Alexander, coordinador VII. Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación VIII. Título IX. Otro título: Biotecnología X. Otro título: Plan Global de Desarrollo 2010-2012. Prospectiva UN – Agendas de conocimiento XI. 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:

Profesor Johnny Alexander Tamayo Arias

Profesional de apoyo

Adriana del Pilar Sánchez Vargas

Vigías

Juan David Bejarano Taborda
Juan Jacobo Jaramillo Obando

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:

Alejandro Chaparro Giraldo
Carlos Ariel Cardona Alzate
Carlos Eduardo Orrego Alzate
Francisco Cristóbal Yepes Rodríguez
Liliana Serna Cock
Sonia Amparo Ospina Sánchez

ISBN: 978-958-761-571-5 (rústica)

ISBN: 978-958-761-570-8 (impresión bajo demanda)

ISBN: 978-958-761-572-2 (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. PANORAMA GENERAL E INSTITUCIONAL	23
1.1 Panorama internacional de investigación en biotecnología	24
1.2 Panorama nacional de investigación en biotecnología	27
1.3 Apuestas gubernamentales en la última década	29
1.4 Esfuerzos institucionales en la definición de agendas de investigación	30
1.5 Capacidades de investigación del entorno nacional e institucional	34
1.5.1 Capacidades del entorno nacional	35
1.5.2 Capacidades de la Universidad Nacional de Colombia	37
2. VISIÓN DE FUTURO: LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PROPUESTOS	47
2.1 Objetivo de la agenda	47
2.2 Objetivos específicos	47
2.3 Metas	48
2.4 Retos y perspectivas	49
2.5 Potenciadores e inhibidores	49
2.6 Propuesta inicial de las temáticas existentes y emergentes	50
2.7 Determinación de énfasis institucionales	51
2.8 Elementos vinculantes	53
3. ANÁLISIS PROSPECTIVO PARA CONSOLIDAR UNA VISIÓN DE FUTURO DE LA AGENDA BIOTECNOLOGÍA	55
3.1 Resumen ejecutivo de los resultados de la encuesta prospectiva	55
3.1.1 Ficha técnica de la encuesta	56
3.1.2 Perfil de los encuestados	57
3.1.3 Valoración de objetivos, metas y alcance	59
3.1.4 Valoración de potenciadores e inhibidores	61

3.1.5	Valoración de las áreas temáticas	62
3.2	Resumen de las realimentaciones en las jornadas de discusión con la comunidad académica	67
3.3	Proyectos propuestos por la comunidad académica	68

BIBLIOGRAFÍA		77
---------------------	--	----

ANEXOS		83
Anexo 1.	Metodología para la construcción de las agendas de conocimiento	83
Anexo 2.	Macrotendencias de la Agenda Biotecnología	92
Anexo 3.	Expertos de la Agenda Biotecnología	132
Anexo 4.	Integrantes de los diferentes equipos de trabajo que apoyan el Proyecto Agendas de Conocimiento	133

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.	Tendencias mundiales en biotecnología aplicando su clasificación por colores	25
Figura 4.	Proyección institucional en el marco de la definición de las agendas de investigación	31
Figura 5.	Distribución geográfica de los grupos de investigación en biotecnología según Colciencias	36
Figura 6.	Distribución de los grupos de investigación en biotecnología dentro de la UN	38
Figura 7.	Capacidades UN. Clasificación de los docentes de la Agenda Biotecnología	39
Figura 8.	Capacidades UN. Nivel de formación de los profesores asociados por sede	39
Figura 9.	Grupos de investigación en biotecnología dentro de la UN por sedes	40
Figura 10.	Distribución de los productos de investigación para la Agenda Biotecnología entre los años 2000 y 2010	41
Figura 11.	Productos de nuevo conocimiento (categoría A) para la Agenda Biotecnología y su distribución por sedes	42
Figura 12.	Productos de formación distribuidos por sedes	42
Figura 13.	Productos de divulgación científica en biotecnología entre los años 2003 y 2010	43
Figura 14.	Premios y distinciones recibidos por los investigadores en el área de biotecnología entre los años 2003 y 2010	44
Figura 15.	Proyectos de investigación y extensión en el área de biotecnología entre los años 2003 y 2010	44
Figura 16.	Capital relacional para la Agenda Biotecnología	45
Figura 17.	Árbol del conocimiento de la Agenda Biotecnología	51
Figura 18.	Margarita de las capacidades acumuladas para la Agenda Biotecnología	52
Figura 19.	Dispersión de las capacidades institucionales para la Agenda Biotecnología por áreas	53
Figura 20.	Red neuronal de la Agenda Biotecnología	54

Figura 21.	Resumen gráfico primera aplicación encuesta prospectiva a directores de grupos de investigación de la UN. Agenda Biotecnología	58
Figura 22.	Resumen gráfico segunda aplicación encuesta prospectiva a investigadores de grupos de investigación de la UN. Agenda Biotecnología	59
Figura 23.	Valoración del grado de acuerdo de los objetivos propuestos en la Agenda Biotecnología por parte de los directores e investigadores de grupos de investigación	60
Figura 24.	Valoración del grado de acuerdo de los alcances propuestos en la Agenda Biotecnología	61
Figura 25.	Promedio de importancia de investigación para el desarrollo de los temas	64
Figura 26.	Capacidades de la UN para desarrollar investigación en los temas de la Agenda Biotecnología	65
Figura 27.	Índice de importancia de investigación para las áreas de la Agenda Biotecnología	67
Figura 28.	Evolución de la demanda de tierra arable para producción de alimentos y biocombustibles	110
Figura 29.	Consumo mundial de fertilizantes entre el período 2002-2009. Millones de toneladas de nutrientes	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Evolución de los PUI, CAI y PRE en la UN sobre los temas relacionados con el área de biotecnología	32
Tabla 2.	Categorías según Colciencias de los grupos de investigación en biotecnología	35
Tabla 3.	Número de grupos que investigan en cada eje temático de biotecnología según Colciencias	36
Tabla 4.	Potenciadores e inhibidores correspondientes a la Agenda Biotecnología	49
Tabla 5.	Ficha técnica de la encuesta prospectiva primera recolección, población directores de grupos de investigación	56
Tabla 6.	Ficha técnica de la encuesta prospectiva segunda recolección, población investigadores de grupos de investigación	57
Tabla 7.	Tiempo de materialización sugerido por los encuestados en años de los temas de la agenda	66
Tabla 8.	Proyectos propuestos por los expertos de la Agenda Biotecnología	69
Tabla 9.	Matriz de macroproyectos proyectados para la Agenda Biotecnología	70
Tabla 10.	Propuestas de proyectos y temas de investigación para la Agenda Biotecnología por parte de los directores encuestados	74
Tabla 11.	Propuestas de proyectos y temas de investigación para la Agenda Biotecnología por parte de los investigadores encuestados	75
Tabla 12.	Ejemplo de biomateriales y sus aplicaciones	99
Tabla 13.	Usos y aplicaciones de ciertas enzimas de potencial industrial	101
Tabla 14.	Metabolitos potenciales desde la óptica de la biorrefinería de cultivos transgénicos	107
Tabla 15.	Grupo de especies usadas en acuicultura	115
Tabla 16.	Diferencias entre patentes y certificados de obtentor UPOV	120
Tabla 17.	Expertos de la Agenda Biotecnología	132
Tabla 18.	Integrantes equipos apoyo logístico y apoyo conceptual coordinación	133
Tabla 19.	Integrantes equipo técnico de gestión de la información VRI	133

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 Biotecnología. 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

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.

de manifiesto, aunque en forma empírica, la evolución de los grupos de investigación 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 permitan 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

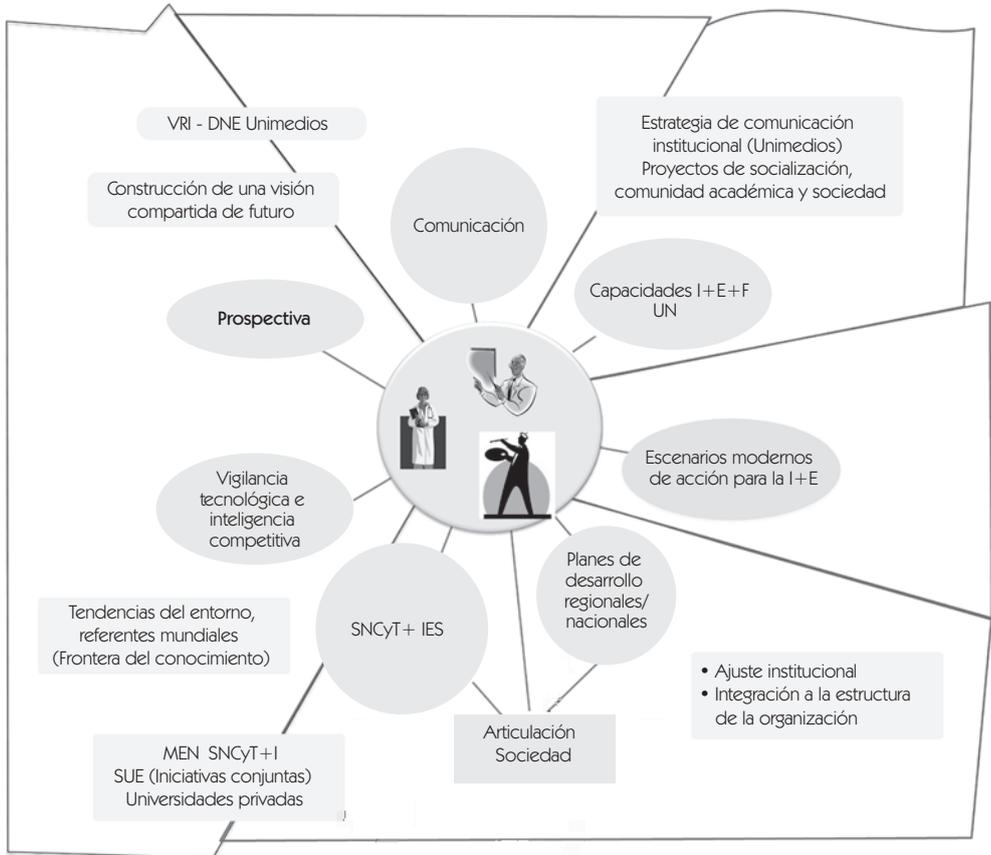
y fortalecimiento permanente hacia el futuro; **iii**) provocar los debates académicos necesarios para crear aproximaciones compartidas del futuro; **iv**) propiciar reflexiones sobre la relación en doble sentido universidad-sociedad en toda su magnitud, pero con el mayor número de elementos e información 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).

2 Ver: VRI (2009a, 2010, 2010a, 2010b, 2010c, 2011a, 2011b).

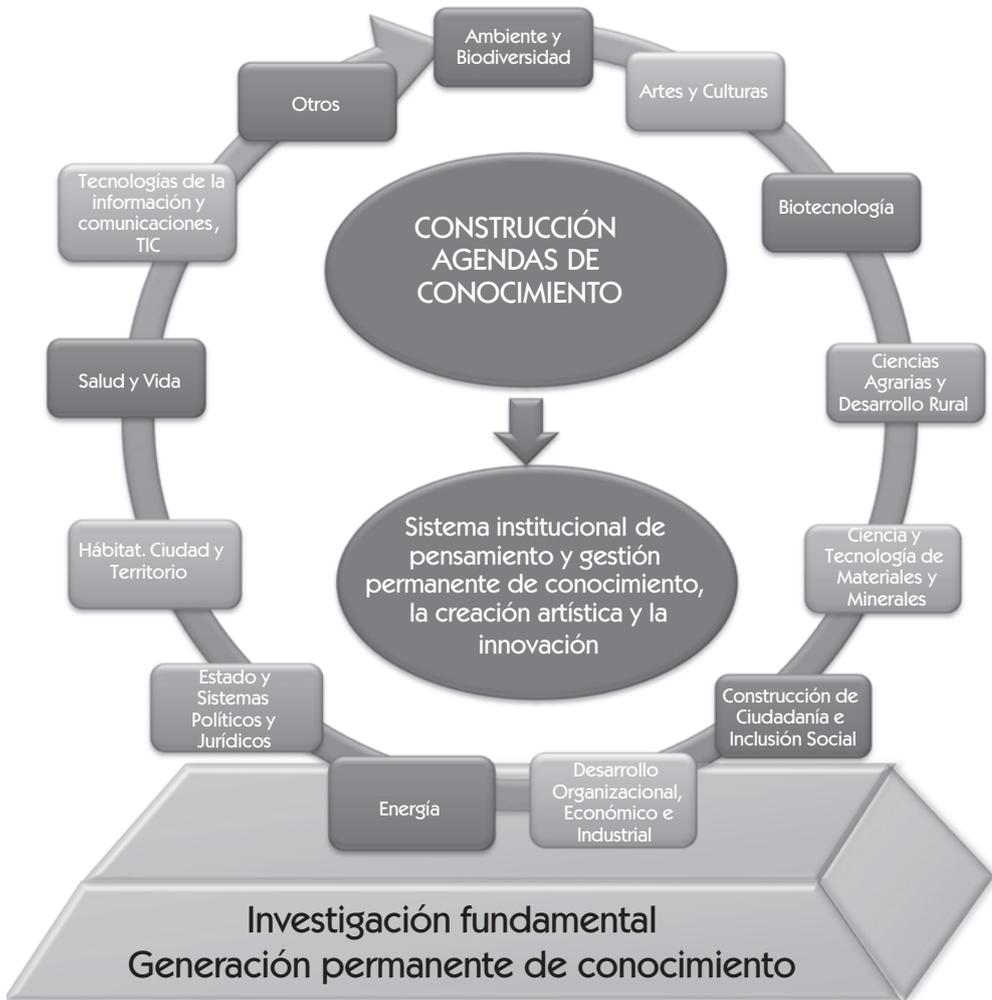
Figura 1. Componentes de las agendas de conocimiento PGD 2010-2012



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, creación artística e 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 Biotecnología) 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, se desarrolla en este documento el marco general de la Agenda Biotecnología, 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, desde una visión universal articulada a la pertinencia local y nacional conectada con todo el SNCTI y la sociedad en general.

La Universidad Nacional de Colombia ha realizado esfuerzos institucionales desde la década de los años 1990 para establecer las prioridades de investigación. Así pues, inicialmente propuso los Programas Universitarios de Investigación, PUI, posteriormente los Campos de Acción Institucional, CAI, y los Programas Estratégicos, PRE. Todos estos esfuerzos encontraron obstáculos en su proceso de desarrollo y no fue posible culminarlos en su totalidad. Posteriormente se propuso trabajar con un modelo denominado Redes, que sirvió de plataforma al Proyecto Agendas de Conocimiento, mediante el cual se pretende reunir las experiencias y aportes en dichos esfuerzos y llevarlo a buen término.

Este documento presenta un marco general de la construcción de la agenda de conocimiento Biotecnología, establecido dentro del Programa de Prospectiva UN - Agendas de Conocimiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, el cual busca establecer bases sólidas para la investigación y la extensión dentro de la UN para los próximos años. Las temáticas tratadas en el documento parten de diversas socializaciones realizadas por el grupo de expertos que conforman la Agenda Biotecnología. Este equipo lo integran docentes de las diferentes sedes de la Universidad Nacional de Colombia, especializados en cada una de las áreas de las agendas, que cuentan con una importante trayectoria académica y son profesionales ampliamente reconocidos por sus pares nacionales o internacionales.

El documento va dirigido a todos los actores de la comunidad académica con el objetivo de aglutinar las necesidades individuales, grupales, institucionales y sociales que se puedan presentar en el campo de acción de la biotecnología, así como a los diseñadores de las políticas públicas, quienes pueden encontrar las prioridades y necesidades en materia investigativa dentro del área de la biotecnología en los ámbitos institucionales, locales, regionales, nacionales e internacionales. Así mismo, puede ser de importancia para el sector privado y otros miembros de la sociedad civil, quienes con sus iniciativas también pueden contribuir en la investigación y el desarrollo, el

fortalecimiento tecnológico, a través de la implementación de programas y proyectos que incentiven desarrollo ambiental y económico del país.

Todo el documento gira en torno a la definición que el grupo de expertos concertó sobre la biotecnología. Dicha definición se enuncia a continuación:

Biotecnología es la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a parte de ellos, productos y modelos, para alterar material vivo y no vivo, para la producción de conocimiento, bienes y servicios (OECD, 2005), teniendo como base técnicas de DNA, RNA genómica, proteínas y otras macromoléculas, ingeniería de células y cultivo de tejidos, procesos biotecnológicos, vectores RNA y genes, y bioinformática.

Las clasificaciones más actuales de la biotecnología moderna proponen cinco campos de acciones: biotecnología en salud humana (incluye aplicaciones en alimentos), biotecnología animal, biotecnología industrial, biotecnología vegetal, biotecnología ambiental. Sin embargo, esta clasificación basada en los campos de acción contiene elementos de confusión. Por ejemplo, existen aplicaciones para los alimentos en biotecnología industrial, biotecnología animal y biotecnología vegetal, que se deben incluir en biotecnología en salud humana. Lo mismo puede afirmarse para la biotecnología ambiental, en relación con la biotecnología industrial y la biotecnología vegetal.

Por esta razón, se propuso una clasificación que resultara más neutra, basada en conceptos más claros. Se encontró entonces la clasificación que usa colores para aterrizar elementos conceptuales, donde se propone la biotecnología roja, la biotecnología verde, la biotecnología blanca y la biotecnología azul. La primera se refiere a aplicaciones en salud, la segunda a aplicaciones en la agricultura, la tercera a aplicaciones para la industria y el ambiente, y la última a la acuicultura. Es posible generalizar algunos tipos, como en el caso de la biotecnología roja, que se considera aplicable a la especie humana y las especies animales.

Finalmente, se hizo una reforma de esta última clasificación, aceptada por el grupo de expertos. Se incluyó la biotecnología azul dentro de la biotecnología verde, en la forma de las diversas aplicaciones de la acuicultura, reconociendo las limitaciones en el desarrollo global de este tipo de biotecnología, limitaciones que también se reflejan en el país y en la Universidad.

El presente documento se divide en tres secciones. En primer lugar, el contexto general e institucional, en donde se hace referencia al panorama internacional y nacional en la investigación en los temas relacionados con la Agenda Biotecnología, al igual que los planes y programas institucionales y temáticos, así como las capacidades nacionales e institucionales asociadas a esta agenda. La segunda sección vincula la visión de futuro como producto de sucesivas discusiones realizadas por el grupo de

expertos donde se prioriza el árbol del conocimiento, insumo fundamental para todo el trabajo realizado. La tercera sección presenta una serie de lineamientos definidos por el grupo de expertos, mediante los cuales se pretende formular áreas de interés para posibles inversionistas o socios estratégicos, quienes puedan estar interesados en realizar macroproyectos con la Universidad Nacional de Colombia en el eje temático de biotecnología, con el objetivo de contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país.

Como se mencionó, el documento se construyó a partir de los aportes del grupo de expertos que la integran, así como de los insumos (bases de datos institucionales, búsquedas bibliográficas, entre otros) que sirvieron de sustento en la construcción del mismo, con el objetivo de proponer las prioridades investigativas y de extensión para la Universidad Nacional de Colombia en el área de la biotecnología.

1. PANORAMA GENERAL E INSTITUCIONAL

En primera instancia, se procederá a presentar un panorama general de la dinámica de la biotecnología en el mundo, y hacia dónde se estima que puedan dirigirse los esfuerzos tanto mundiales como institucionales en esta área de la ciencia. Posteriormente, se revisará qué se está haciendo en Colombia en materia de biotecnología, cuáles son las necesidades expresadas por los gobiernos locales, regionales y nacional en esta área; cuáles han sido las apuestas gubernamentales en materia de biotecnología, y cuáles son las capacidades institucionales en lo relacionado con la biotecnología en investigación y en extensión.

Partiendo de un enfoque general, se considera la biotecnología como el uso de organismos vivos o partes de ellos (extractos, tejidos, células, moléculas) para la producción de bienes y servicios. Según este punto de vista, se evidencia que el hombre se ha servido de la biotecnología desde hace miles de años atrás, por ejemplo, en la elaboración de alimentos fermentados (pan, yogurt, vinos, cervezas, entre otros). Sin embargo, esta visión de la biotecnología ha evolucionado, y a la definición de biotecnología moderna se ha agregado el uso de la información genética y la incorporación de técnicas de ADN recombinante (modificado de OECD, 2009).

La biotecnología moderna, entendida como una disciplina intensiva a nivel científico y técnico, caracterizada por su naturaleza multidisciplinaria y de fuerte interacción con otras tecnologías ya existentes, se ha desarrollado enormemente a lo largo de la historia y se ha ligado estrechamente hasta el día de hoy con el progreso tecnológico. Por tal razón, entidades interesadas en dicho progreso, como las universidades y empresas que se relacionan con el uso y estudio de la biotecnología, requieren una constante innovación, actualización, desarrollo tecnológico y lanzamiento de nuevos productos. Ejemplo de ello son la Universidad de Maryland en Estados Unidos y la Universidad de Helsinki en Finlandia, las cuales han creado sus propios institutos de biotecnología y cuentan con tecnología de punta para desarrollar sus investigaciones. Todo esto conlleva a orientar y fortalecer las actividades de investigación y desarrollo (I+D) para descubrir nuevas aplicaciones y generar vínculos con sectores afines.

Actualmente, la biotecnología en el mundo proporciona ventajas competitivas al sector farmacéutico, agrícola, alimentario, químico y medioambiental, cumpliendo distintos roles en el proceso productivo. Al respecto, esta tecnología puede desempeñarse como un eje principal, cumplir una función clave o simplemente ser un soporte de

desarrollo y aplicación. Los impactos más marcados se observan a nivel socioeconómico y ambiental. El impacto económico de la biotecnología puede generar desde el surgimiento de nuevos nichos de negocios hasta un cambio en la estructura productiva de un país y una mejora en su competitividad internacional. En el marco social, se vincula con áreas destinadas a mejorar las condiciones de vida de la población y salud humana. En este sentido, las tendencias a nivel mundial (biotecnología de la salud, por ejemplo) brindan ejemplos marcados de la ayuda de la ingeniería genética para reducir la transmisión de enfermedades humanas y animales a partir de nuevas vacunas. En el terreno ambiental, la biotecnología ofrece insumos para el desarrollo de actividades de forma sostenible, protegiendo los recursos naturales y la biodiversidad mediante las estrategias de bioprospección y bio-remediación (Kircher, 2010).

1.1 Panorama internacional de investigación en biotecnología

Este apartado contiene una revisión general de documentos de prospectiva y vigilancia tecnológica en materia de biotecnología aplicada al ámbito internacional. Tiene el propósito de enmarcar el objeto de estudio dentro de los parámetros internacionales, para ver las oportunidades en las cuales el país y la Universidad cuentan con un potencial campo de acción y establecer un mapa general de la biotecnología en los próximos años. En el anexo 1 se especifica el proceso metodológico empleado para la elaboración de dichas macro-tendencias.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, OECD por sus siglas en inglés, afirma que las tecnologías con mayor impacto en el futuro cercano (tendencias) son:

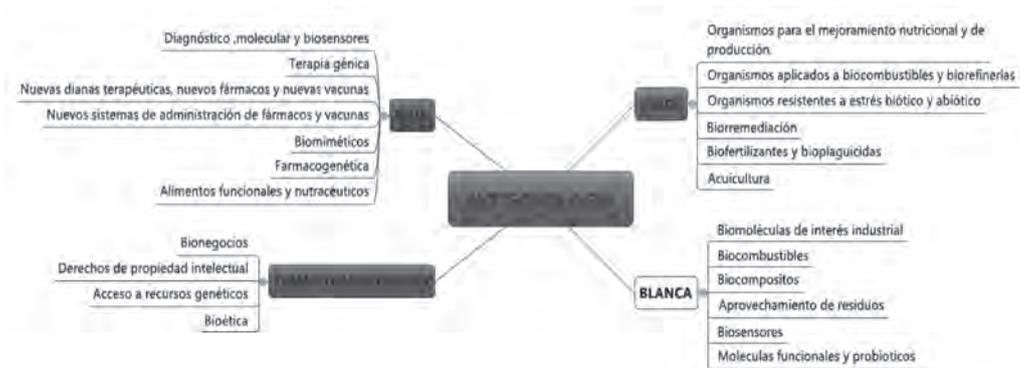
- El ARN de interferencia, RNAi, está en la base de algunas terapéuticas que están siendo probadas clínicamente y que podrían estar en el mercado en 2015.
- En bioinformática, “la construcción y análisis de bases de datos continuarán siendo dos de sus principales usos y se espera un rápido crecimiento hasta 2015, apoyado por el aumento previsible del poder de la computación. Estas bases de datos complejas integrarán información sobre secuenciamiento de genes, biología, ciencias de la computación, imágenes, física y química, y harán posible modelar células como sistemas y predecir sus funciones. La disminución de los costos del secuenciamiento de genes contribuirá a estos desarrollos”.
- Las técnicas de ingeniería de las rutas metabólicas van a ampliar el campo de los compuestos que podrán ser producidos a través de la biotecnología y

probablemente puedan ser usadas ampliamente antes de 2015 para producir plásticos biodegradables, biocombustibles y productos farmacéuticos.

- Estas técnicas podrían constituir un puente hacia otras técnicas que involucran el uso de “genomas artificiales” o partes biológicas modulares que probablemente tardarán más tiempo en desarrollarse. A partir de avances recientes podrían usarse genomas sintéticos o partes biológicas para construir un pequeño número de microorganismos hechos a medida para la producción de compuestos valiosos que son difíciles o imposibles de producir con otras tecnologías.

Aplicando la clasificación por colores enunciada en la introducción del documento, los expertos de la agenda han separado las áreas principales de biotecnología como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Tendencias mundiales en biotecnología aplicando su clasificación por colores



Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 2 se profundizan las áreas y sub-áreas en las cuales fue dividida la biotecnología. Dichas áreas parten de la idea de que en el futuro serán clave a nivel mundial, no solo en materia de investigación, sino de aplicaciones que ayuden a mejorar las condiciones de vida de la humanidad. A continuación se listan algunos elementos que se predicen pueden llegar a ocurrir dentro de los próximos años.

Las tendencias mundiales hacia 2020 en la biotecnología verde, de acuerdo con el Ministerio de Investigación, Ciencia y Tecnología de Nueva Zelanda, MoRST por sus siglas en inglés, son (MoRST, 2005):

- Productos mejor balanceados para la alimentación de animales, con más concentración de aminoácidos y mayor densidad o utilización más eficiente de nutrientes como los fosfatos que podrían proporcionar ventajas ambientales.
- Resistencia a la sequía y a otros estreses ambientales, tales como salinidad, parásitos y enfermedades.
- Cultivos creados para obtener productos farmacéuticos (vacunas y anticuerpos).
- Cultivos desarrollados para aplicaciones industriales particulares con mejores atributos, con capacidad de producir enzimas útiles para ciertos procesos industriales y con un mayor contenido de material rico en energía.
- Animales genéticamente modificados para consumo o para la producción de productos farmacéuticos o usos industriales.
- Productos microbiológicos como fertilizantes, biopesticidas (bioplaguicidas), promotores del crecimiento, etc.

A su vez, en el sector de la biotecnología roja (biotecnología en salud), los informes de OCDE y la Rand Corporation OECD (2009) proyectan algunas aplicaciones relacionadas que llegarán al mercado entre los años 2020 y 2030:

- Aumentos sustantivos en la aprobación y uso de nuevos productos farmacéuticos y vacunas basados en biotecnología.
- Uso extensivo de ensayos para el descubrimiento de múltiples factores genéticos de riesgo para enfermedades comunes, con la posibilidad de generar una medicina personalizada.
- Mejoras en la seguridad y eficacia de los tratamientos terapéuticos debido a la vinculación de datos farmacogenéticos, prescripciones y resultados sanitarios de largo plazo.
- Nuevos nutracéuticos que podrán ser producidos con microorganismos genéticamente modificados a partir de extractos de plantas y organismos marinos.
- Capacidad para diseñar nuevas drogas usando simulaciones en computadora, así como nuevas capacidades para analizar efectos colaterales dañinos en sistemas modelo basados en el ensamblado de chips.
- Administración directa de drogas en órganos o tumores usando enfoques de reconocimiento molecular. Generación de implantes y prótesis que imiten funciones biológicas, restauren funciones críticas en órganos o tejidos o aumenten estas funciones.

En lo que respecta a la biotecnología blanca (biotecnología industrial) se pueden mencionar (MoRST, 2005):

- Desarrollo de diversos tipos de enzimas y microorganismos genéticamente modificados que pueden fabricar productos químicos en un solo paso, algunos de ellos identificados a través de modernos métodos de bioprospección.
- Biosensores para el monitoreo en tiempo real de contaminantes ambientales y técnicas biométricas para identificación de personas.
- Biocombustibles de alta densidad de energía producidos a partir de materias primas de segunda y tercera generación.
- Mayor proporción de mercado para biomateriales como los bioplásticos, especialmente en nichos en los que pueden ofrecer algunas ventajas.

1.2 Panorama nacional de investigación en biotecnología

En Colombia, el desarrollo de la biotecnología como disciplina se remonta a alrededor de 25 años atrás. En los años ochenta, se dio el primer paso relevante con la creación del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Partiendo de allí, los avances de la biotecnología han sido muy significativos teniendo en cuenta el poco tiempo de experiencia que se tiene. En el Programa de Agendas de Conocimiento, los expertos de la misma han realizado sus proyecciones a nivel nacional en investigación y extensión para los próximos años, como se muestra a continuación.

En el sector de biotecnología roja, la situación actual y proyectada a 2030 revela la aplicación de:

- Diagnóstico molecular y biosensores basados en marcadores genéticos (variedades genéticas que predisponen a ciertas enfermedades, como el cáncer), proteínicos (enzimas que silencian genes o están defectuosos) o moleculares (productos secundarios del metabolismo).
- Terapia génica y nuevas dianas terapéuticas, nuevos fármacos y nuevas vacunas. De la mano de otras áreas de la biotecnología se descubrieron nuevos fármacos (a partir de genotecas marina, microbiana, de plantas o animales) que tienen capacidad terapéutica en dianas de enfermedades ya conocidas o nuevas (receptores de membrana, enzimas o los propios genes).
- Nuevos sistemas de administración de fármacos y vacunas y biomiméticos, por ejemplo, la administración controlada de fármacos que solo se liberan ante unas circunstancias muy determinadas, a la concentración adecuada y únicamente en la zona afectada.
- Farmacogenética o medicina personalizada.

- Alimentos funcionales y nutracéuticos o aquellos alimentos que producen un efecto benéfico comprobado en la salud.

En el ámbito de la biotecnología aplicada a los procesos agrícolas, las proyecciones y el panorama actual del país se enfoca según los expertos a:

- El mejoramiento de organismos que expresen tolerancia al estrés causado por factores bióticos o factores abióticos. Tolerancia a plagas y enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales (temperatura, sequía, acidez, salinidad, etc.), buscan mejorar la producción sin afectar la biodiversidad y mitigar los efectos del cambio climático.
- La aplicación de las técnicas de la biotecnología moderna a los organismos aplicables a biorrefinerías y a la producción de biocombustibles dando lugar a la producción de nuevas moléculas de uso industrial (farmacia, cosmética, alimentación, etc.), y en la búsqueda de fuentes alternativas de energía.
- La producción de bioplaguicidas y biofertilizantes usando métodos de la biotecnología moderna, haciendo énfasis en la búsqueda de alternativas para la sustitución de fertilizantes y agroquímicos, dada la problemática del agotamiento de los recursos no renovables.
- El incremento de la calidad nutricional y reducción de compuestos no deseables, aumento del rendimiento, mejoramiento de la calidad y cantidad de lignina en especies forestales, alteración del color de las flores de corte, retardo del climaterio de las frutas, bovinos genéticamente modificados para obtención de productos lácteos con características específicas (producción de fármacos y hormonas de crecimiento).
- La biorremediación y la producción de algas para biocombustibles y el de peces genéticamente modificados con crecimiento optimizado.

La expedición en Colombia de la Ley 693 de septiembre de 2001 obliga a oxigenar en un 10% la gasolina con alcohol anhidro en ciudades con una población mayor de 500.000 habitantes, lo que ha enfrentado al país a la producción biotecnológica de alcohol carburante (bioetanol) a gran escala. Pese a que se han desarrollado algunas tecnologías de obtención de biocombustibles en Colombia, el proceso dista mucho de ser efectivo desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Con ello surgen varios aspectos que la biotecnología blanca aborda y proyecta según las tendencias del mercado y la investigación. A continuación se ilustran algunos aspectos clave, según los expertos, para tener en cuenta en biotecnología blanca:

- La producción de una amplia gama de biomateriales aplicando la biotecnología,

dentro de los cuales se encuentran químicos, fármacos, productos especializados, aceites industriales, biopolímeros y fibras.

- La aplicación de las enzimas en muchos procesos industriales demuestra tener una gran demanda en el mercado, debido a sus características de especificidad y gran control sobre los procesos.
- La producción de biodiesel y bioetanol de materiales agroindustriales y biomasa alternativa como las microalgas dentro de un contexto de producción sostenible y de gran escala para suplir las necesidades energéticas del país.
- La producción directa usando procesos de conversión catalíticos y termoquímicos desde materias primas biológicas (primera generación de biorrefinerías), biorrefinación o producción por tecnologías de conversión bioquímica y expresión en plantas (segunda generación de biorrefinerías), y producción desde plantas genéticamente modificadas y diseñadas con bases funcionales de biomonomeros fuente de varios bioproductos (tercera generación de biorrefinerías).
- Inserción en la cadena productiva de cenizas provenientes de la cogeneración de energía por gasificación de biomasa originada en residuos agroindustriales colombianos y su valoración como materia prima apta para la producción de biocompositos.

1.3 Apuestas gubernamentales en la última década

En 1999 se generó el Plan Estratégico de la Biotecnología en Colombia 1999-2002, mediante el cual se busca facilitar la inserción de esta tecnología como componente del desarrollo socioeconómico del país. Los objetivos estratégicos de este plan están dirigidos a:

Promover la transferencia tecnológica exitosa en empresas de base biotecnológica y la generación de políticas industriales y económicas que fomenten la inversión de capital de riesgo en biotecnología; a apoyar la formación de recursos humanos en todas las áreas del proceso innovativo de la biotecnología, considerando también aspectos como mercadeo, comercialización, transferencia tecnológica y propiedad intelectual, y a promover la conformación de unidades de vinculación y transferencia tecnológica en todas aquellas instituciones que desarrollen labores en este campo (Hernández, 2008).

El Plan Nacional de Desarrollo 2010 espera un crecimiento del 1% en la biotecnología del país, lo que significa un crecimiento y proyección del 2% del Producto Interno Bruto, PIB, anual para el año 2019. Además, se están formulando las políticas a largo plazo en el Programa Visión Colombia 2019. Dicha propuesta busca fortalecer la capacidad científica, tecnológica y empresarial dentro de un marco legal e institucional que sea

dinámico y esté acorde con el mercado, impulsando la formación de consorcios y el aprovechamiento de la biodiversidad, a través de la bioprospección.

El nuevo Proyecto de Ley de Ciencia y Tecnología propondría un fortalecimiento institucional del campo, con la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología y la constitución de un fondo significativo de recursos y el mantenimiento de incentivos tributarios, además del aumento financiero.

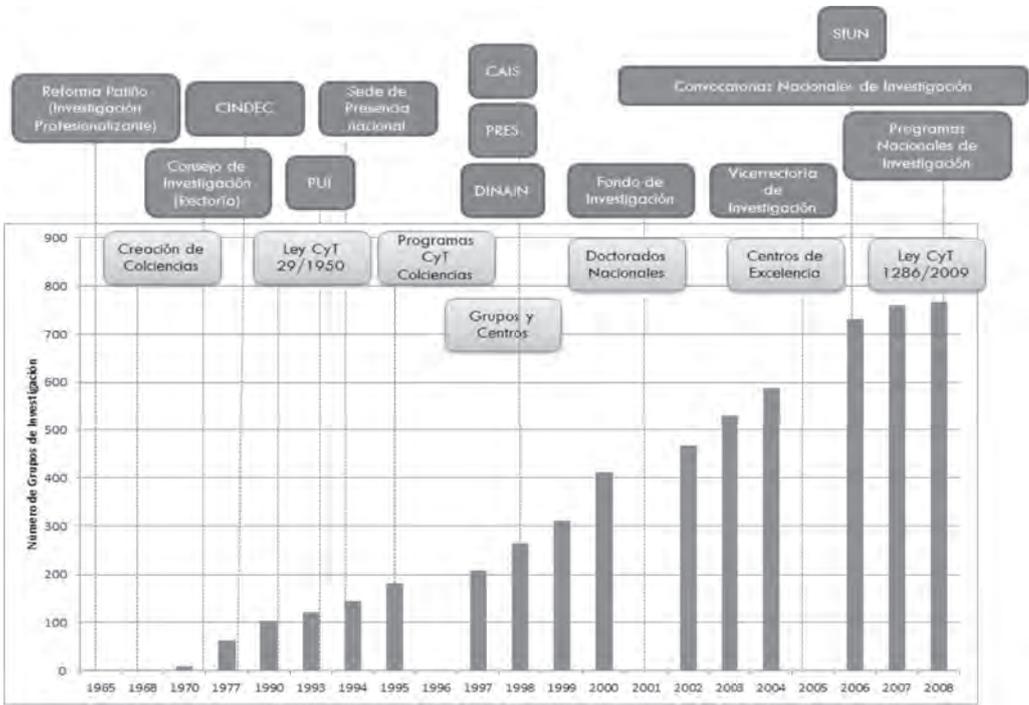
Existen actualmente en Colombia varios parques tecnológicos con distintos niveles de desarrollo. Estos parques, y los involucrados directamente en este tipo de proyectos, sienten que la participación, tanto de los productores como de las universidades, es escasa.

1.4 Esfuerzos institucionales en la definición de agendas de investigación

Es preciso reconocer los esfuerzos anteriores que la Universidad Nacional de Colombia ha dedicado 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 Estratégicos, PRE, correspondientes a planes de desarrollo anteriores (Duque, Brijaldo y Molina, 2001).

Desde 1993, con la introducción de los programas de Ciencia y Tecnología de Colciencias, se inició el proceso de establecer una serie de lineamientos que estandarizaran la forma de investigar y generaran desarrollo en las ciencias del saber que abarca la Universidad Nacional de Colombia. Emergen los PUI como un primer acercamiento metodológico hacia los establecimientos de I+D, seguido por los CAI y PRE en 1998, hasta consumir esfuerzos en la apuesta de las agendas de conocimiento en el año 2010. Dicha evolución se puede evidenciar en la figura 4.

Figura 4. Proyección institucional en el marco de la definición de las agendas de investigación



Fuente: Elaboración propia a partir de Capacidades de Investigación en la Universidad Nacional de Colombia 2000-2008.

Los PUI se definieron 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”. 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; sin embargo, no encontró un espacio adecuado dentro de la rígida estructura administrativa de la Universidad” (IDEA, 1991).

“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” (Plan Global, 1999-2003).

Los PRE se formularon desde cada CAI 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 (Flórez, 1999). Eran considerados como los frentes de acción desde donde se esperaba trabajar de manera organizada y concreta alrededor de los problemas nacionales.

En la tabla 1 se presentan las transformaciones que surgieron en términos de los esfuerzos institucionales de investigación relacionados con el área de biotecnología dentro de la UN. Se puede evidenciar que no existía en aquellos planes una prioridad clara en relación con la biotecnología. Esto puede explicarse por múltiples factores, destacándose tal vez el escaso reconocimiento internacional que tenía la biotecnología en aquella época.

Tabla 1. Evolución de los PUI, CAI y PRE en la UN sobre los temas relacionados con el área de biotecnología

Programas Universitarios de Investigación (PUI) 1996	Campos de Acción Institucional (CAI) 2000	Programas Estratégicos (PRE) 1999-2003
Ciencia, tecnología y cultura	1. Desarrollo rural y seguridad alimentaria	1.1 Cadenas alimentarias y patrones alimentarios. 1.2 Análisis de los sistemas de producción agropecuaria
Medio ambiente	2. Ambiental	2.1 Ecosistemas, biodiversidad y conservación. 2.2 Gestión del medio ambiente. 2.3 Pensamiento, educación y formación de conciencia ambiental. 2.4 Producción limpia y ambientalmente sostenible. 2.5 Política, legislación y ética
Salud	3. Calidad de vida	3.1 Tecnologías para la salud 3.2 Investigación biomédica
Ciencias agropecuarias	4. Desarrollo tecnológico	4.1 Genética y biotecnología
	5. Desarrollo científico	5.1 Sistemas simples y complejos en las ciencias naturales

Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Global (1999-2003), VRI (2006), Plan Global (2006).

El Plan Global de Desarrollo establecido para el período 2007-2009 persistió en el ejercicio de un liderazgo estratégico para consolidar la labor investigativa, y propuso 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, y planteó 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 multisedes (Plan Global, 2009). A continuación se enumeran las redes que tenían cierta relación con el eje temático de biotecnología:

- Biotecnología
- Recursos marinos
- Estudios ambientales
- Recursos genéticos
- Innovación agroalimentaria
- Innovación agroindustrial
- Biología molecular y celular
- Ciencias médicas
- Bioquímica

Así mismo, y tomando como referente el plan estratégico de investigación que la Universidad incluyó en el Plan Global de Desarrollo 2010-2012, se propone impulsar el desarrollo de una universidad moderna de investigación, por lo que 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 –grupos, centros, consorcios, redes, etc.– y la construcción concertada de una visión hacia el futuro en la que se identifiquen los escenarios y se 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 (Plan Global, 2009).

1.5 Capacidades de investigación del entorno nacional e institucional

En 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 capacidades³ de investigación, el cual es empleado en esta sección, donde las capacidades de investigación reflejan una dinámica acumulativa, en tanto que se basan en el conocimiento y su naturaleza intangible, observados como resultado y crecimiento en los componentes del capital intelectual.

En VRI (2009a) se definen las diferentes dimensiones del capital intelectual, así:

- i) Capital humano: se refiere a los actores relacionados con los procesos de investigación, a los conocimientos, habilidades, valores y actitudes de las personas; 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, sistemas de información donde se recogen los productos académicos de I+D.
- iii) Capital relacional: allí se exponen los diferentes lazos con otras instituciones que la Universidad ha identificado como parte de sus procesos de investigación.

Del entorno nacional se analizaron entonces el capital humano y el capital estructural a través de búsquedas sistemáticas en la Plataforma ScienTI-Colombia; allí es posible ubicar grupos de investigación en biotecnología, además del Sistema Nacional de Información de Educación Superior, SNIES, donde se recabó información de los programas de formación existentes en Colombia. En ambos casos se identificaron aquellos relacionados con el área de la biotecnología.

Por otro lado, las capacidades acumuladas de la Universidad Nacional de Colombia relacionadas con la biotecnología se analizaron desde la perspectiva de los tres componentes del capital intelectual, en específico para el período comprendido entre los años 2000 y 2010 a partir de insumos suministrados por la VRI.

3 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, 2002) tomado de VRI (2009a).

1.5.1 Capacidades del entorno nacional

En este aparte se hace referencia de manera general a las capacidades de investigación y formación en Colombia sobre los temas relacionados con la Agenda Biotecnología, por lo que se identificaron 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 del Ministerio de Educación; 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, 2012), se encontró que en el país existen 308⁴ grupos de investigación que trabajan temas relacionados con la biotecnología. La clasificación según Colciencias de cada uno de los grupos se expone en la tabla 2.

Tabla 2. Categorías según Colciencias de los grupos de investigación en biotecnología

Categoría	Número de grupos
Categoría A1	18
Categoría A	21
Categoría B	36
Categoría C	59
Categoría D	100
Grupo de investigación sin clasificación, año 2010	74
Total general	308

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Colciencias (Colciencias, 2012).

1.5.1.2 Capital estructural

De acuerdo con la clasificación inicial de biotecnología, fue posible determinar el número de grupos que investigan en temas relacionados con la biotecnología roja, la biotecnología verde, la blanca, y los temas transversales de biotecnología tanto a

4 Información recuperada en febrero de 2012.

nivel nacional como institucional. Esto se puede evidenciar en la tabla 3. Es importante resaltar que un grupo de investigación puede trabajar los cuatro ejes temáticos en los cuales la agenda ha clasificado la biotecnología, o en tan solo uno, dos o tres. Por tal razón, la sumatoria total de grupos no suma el total de los 308 grupos que se encuentran registrados en GrupLAC.

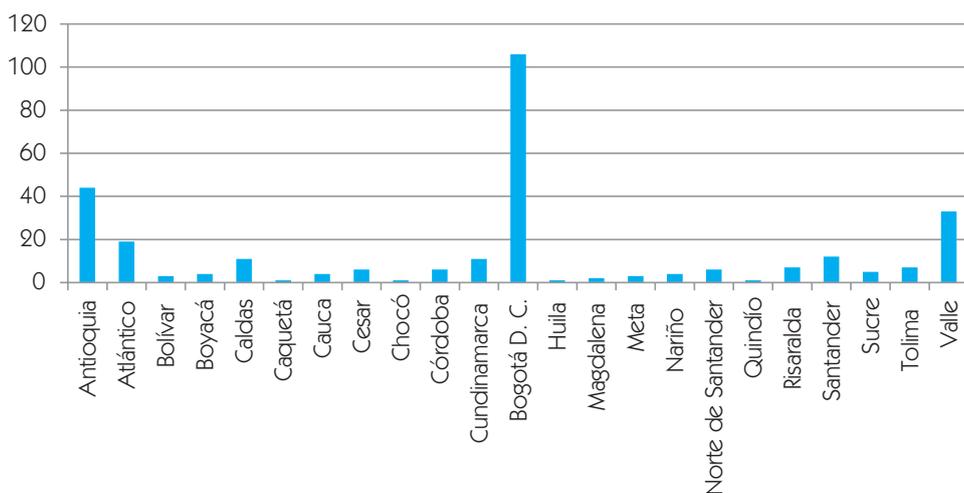
Tabla 3. Número de grupos que investigan en cada eje temático de biotecnología según Colciencias

Área	Nacional	UN
Verde	160	37
Blanca	93	24
Roja	95	19
Transversal	109	17

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Colciencias (Colciencias, 2012).

En la figura 5 se ilustra la distribución por departamentos de los grupos de investigación dentro del área de biotecnología en Colombia.

Figura 5. Distribución geográfica de los grupos de investigación en biotecnología según Colciencias



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de Colciencias (Colciencias, 2012).

1.5.2 Capacidades de la Universidad Nacional de Colombia

A continuación se listan los documentos que fueron suministrados por la VRI para la elaboración de las *Capacidades acumuladas de investigación de la UN*. Cabe aclarar que se revisaron los datos del rango de tiempo comprendido entre 2000 y 2010.

- Productos académicos reportados ante el Comité de Puntaje.
- Proyectos de investigación registrados en Quipu⁵.
- Proyectos de extensión registrados en Quipu.
- Grupos de investigación seleccionados.

Al ser datos obtenidos a partir de bases de datos institucionales, existe la posibilidad de que los datos no correspondan exactamente a la realidad, puesto que muchos grupos se registran dentro del marco de biotecnología, sin que se corrobore que los trabajos realizados en realidad correspondan a dicha área. Sin embargo, los datos que se muestran en la siguiente sección representan una buena aproximación de la realidad.

Se procedió a identificar las capacidades acumuladas de la Universidad correspondientes al área de biotecnología. Previa revisión, depuración y posterior análisis se agrupa la información en: i) capital humano, ii) capital estructural y iii) capital relacional.

1.5.2.1 Capital humano

En este aparte se establece la relación entre la participación de investigadores y los grupos de investigación en las áreas de la Agenda Biotecnología, donde para el período comprendido entre los años 2000 y 2010, en la VRI se identificaron 134 grupos de investigación, de los cuales 30 grupos tienen integrantes provenientes de más de una sede (intersedes), factor 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 (ver figura 6).

5 Quipu: Sistema de Gestión Financiera de la Universidad Nacional de Colombia.

Figura 6. Distribución de los grupos de investigación en biotecnología dentro de la UN

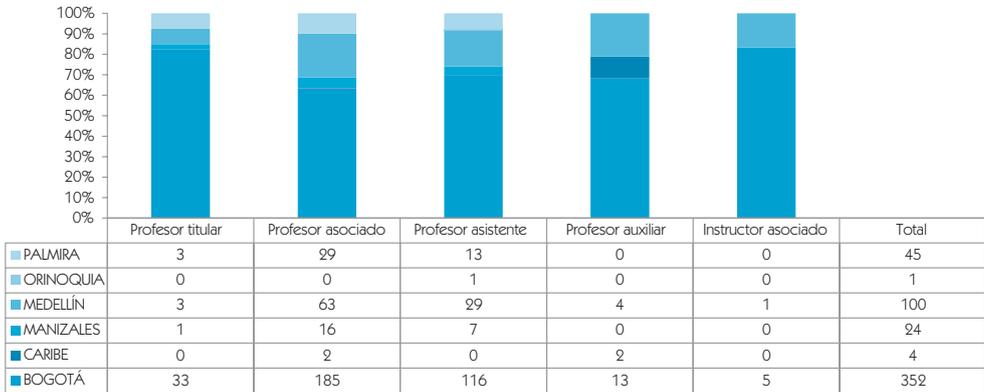


Fuente: VRI, a partir de búsqueda en SCienTI, julio 11 de 2009.

En cuanto a la planta docente, es importante destacar que 592 personas han integrado los diferentes grupos de investigación, de los cuales la totalidad hacen parte de la Universidad Nacional de Colombia. De esas 592 personas, 526 son profesores asociados a la UN. Alrededor del 87% de dichos profesores cuentan con un nivel de formación de maestría o doctorado.

La figura 7 presenta la relación de capital humano en cada una de las sedes de la Universidad y por categoría docente, e indica a su vez una alta presencia de profesores asociados en cada una de las sedes.

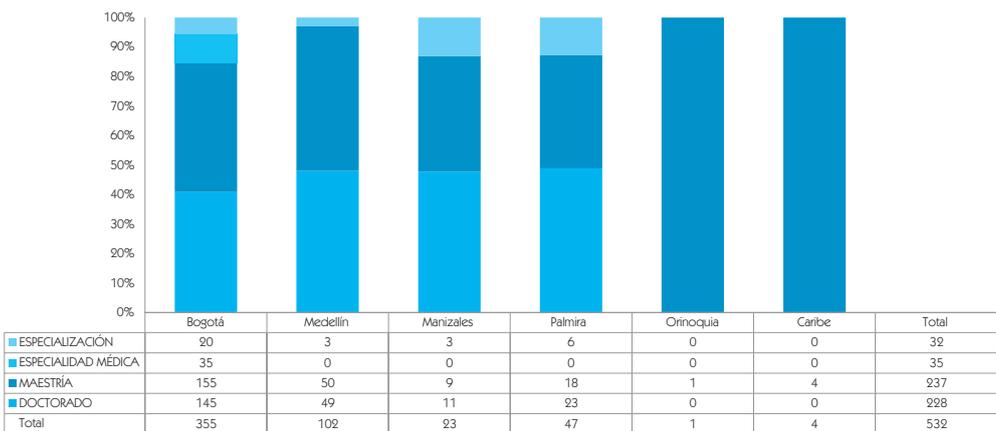
Figura 7. Capacidades UN. Clasificación de los docentes de la Agenda Biotecnología



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA, Quipu y Comité de Puntaje, período enero de 2003 a diciembre 31 de 2010.

En la figura 8 aparece la relación del nivel de formación del capital humano vinculado a las temáticas de la agenda en el período comprendido desde el año 2000 a 2010; se evidencia que la mayoría de los investigadores tienen formación de maestría y doctorado, y además están ubicados en las sedes de Bogotá y Medellín.

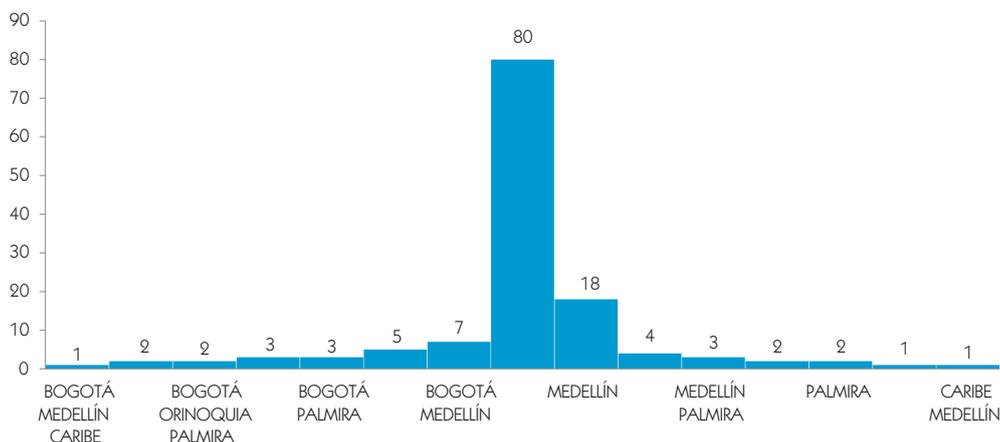
Figura 8. Capacidades UN. Nivel de formación de los profesores asociados por sede



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA, período enero de 2000 a diciembre 31 de 2010.

En la figura 9 se ilustra el número de grupos de investigación en cada sede de la Universidad Nacional de Colombia. La sede Bogotá alberga alrededor del 60%. Además, se presenta el número de grupos intersedes dentro del área de biotecnología.

Figura 9. Grupos de investigación en biotecnología dentro de la UN por sedes.

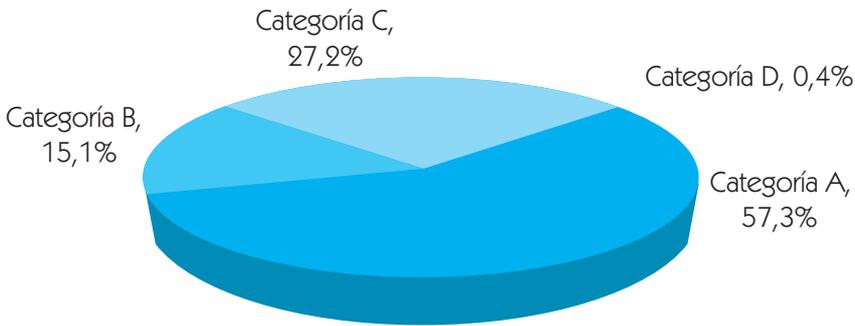


Fuente: VRI, a partir de búsqueda en SCienTI, julio 11 de 2010.

1.5.2.2 Capital estructural

En el presente aparte se expone un análisis de la producción académica de los docentes entre los años 2003 a 2010 relacionados con el área de biotecnología. En primera instancia, fue posible determinar que en dicho lapso se realizaron 3.096 productos académicos, de los cuales el 57% corresponde a la categoría de generación de nuevo conocimiento (categoría A); el 15% de los productos de investigación, relacionados con la formación de investigadores (categoría B); el 27% corresponde a productos de divulgación científica (categoría C), los cuales hacen mención a exposiciones que han realizado los investigadores en diversos escenarios; y el 0,4% corresponde a premios y distinciones tanto a nivel nacional como internacional que han recibido los investigadores de la Agenda Biotecnología (categoría D). Dichos porcentajes se indican en la figura 10.

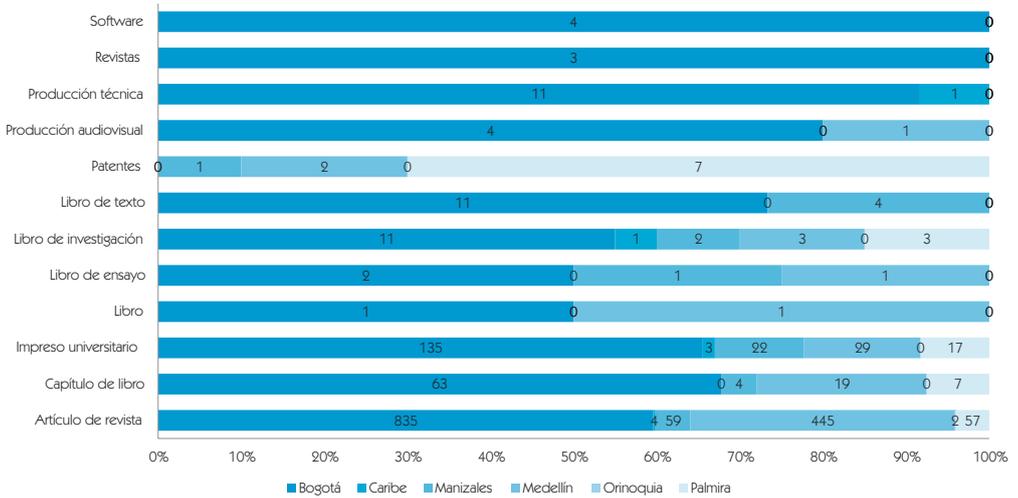
Figura 10. Distribución de los productos de investigación para la Agenda Biotecnología entre los años 2000 y 2010



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero de 2003 a diciembre 31 de 2010.

La categoría A (generación de nuevo conocimiento) 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. En este grupo se destaca como su componente principal la producción de artículos de revista, con un total de 1.402 publicaciones. En la figura 11 se presentan los elementos que componen la categoría A, dentro de la cual se lograron identificar 1.776 productos en total.

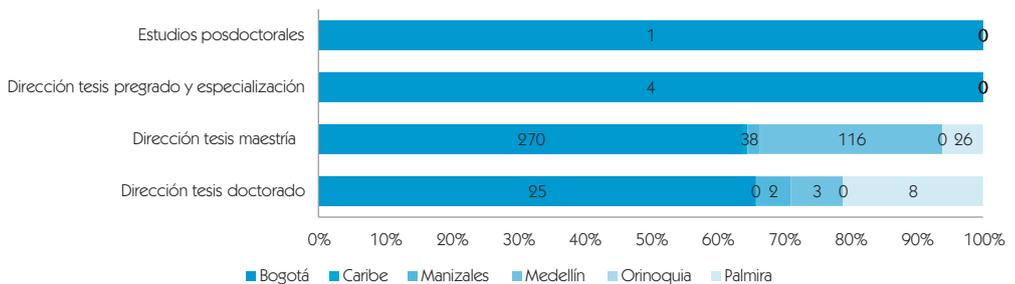
Figura 11. Productos de nuevo conocimiento (categoría A) para la Agenda Biotecnología y su distribución por sedes



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero de 2000 a diciembre 31 de 2010.

La categoría B (productos de formación de investigadores) se refiere a las tesis doctorales o de maestría. Aparecen en total 466 productos, de los cuales 423 son tesis de maestría. En la figura 12 se presenta el porcentaje de los productos que componen esta categoría y su distribución por sedes.

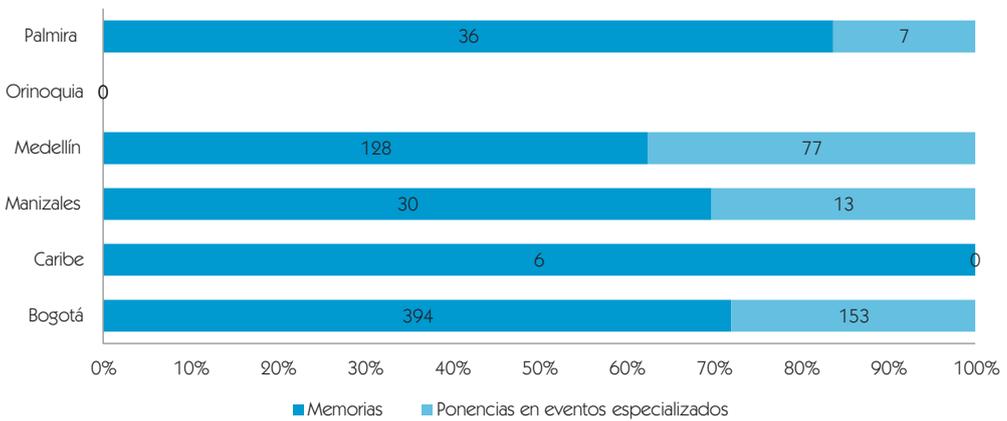
Figura 12. Productos de formación distribuidos por sedes



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero 2000 a diciembre 31 de 2010.

Los productos de investigación relacionados con la extensión o apropiación social del conocimiento (categoría C) hacen referencia a los productos de divulgación o popularización de resultados de investigación, tales como: los 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. En la figura 13 se presenta la distribución de estos productos.

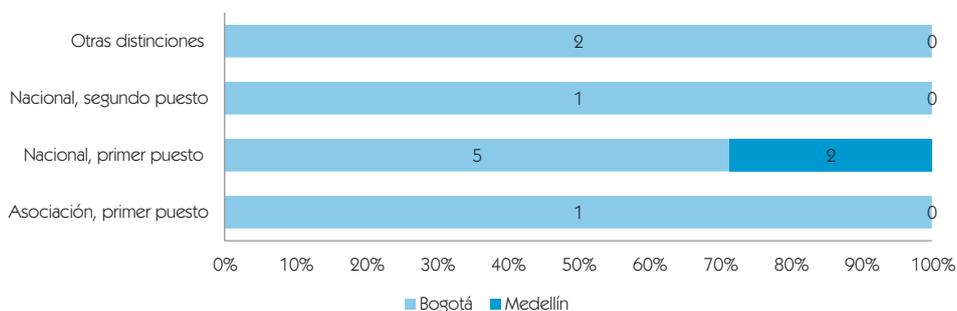
Figura 13. Productos de divulgación científica en biotecnología entre los años 2003 y 2010



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero de 2003 a diciembre 31 de 2010.

Finalmente, los productos que concluyen esta sección son los premios y distinciones que han recibido los investigadores del área de biotecnología en el período comprendido entre 2003 y 2010 (categoría D). Los resultados se ilustran en la figura 14.

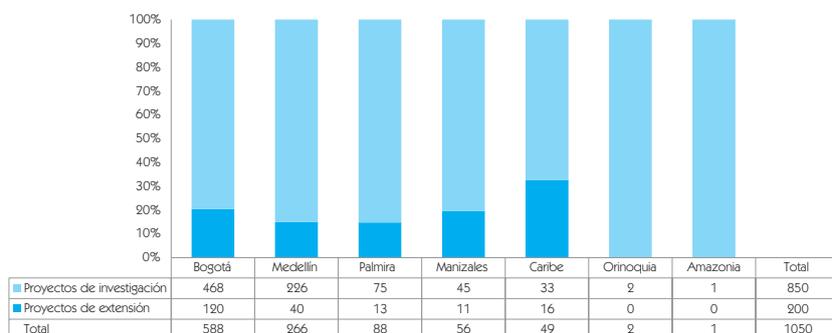
Figura 14. Premios y distinciones recibidos por los investigadores en el área de biotecnología entre los años 2003 y 2010



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero de 2003 a diciembre 31 de 2010.

Dentro del capital estructural se debe hacer una clasificación de los proyectos de investigación⁶ y de extensión. La figura 15 presenta la distribución de los 1.050 proyectos desarrollados dentro de la Universidad Nacional de Colombia en el marco del área de biotecnología durante los años 2003 a 2010, en cada una de las sedes. De estos 1.050 proyectos, el 81% corresponde a investigación, y el 19% restante, a extensión.

Figura 15. Proyectos de investigación y extensión en el área de biotecnología entre los años 2003 y 2010



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA y Comité de Puntaje, período enero de 2003 a diciembre 31 de 2010.

6 Proyectos 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.

Con base en la figura anterior, se puede evidenciar que la sede Bogotá lidera los proyectos tanto en materia de investigación como de extensión abarcando aproximadamente el 55% en estos dos ejes, seguido de la sede Medellín, la cual cubre alrededor del 20% en las dos categorías.

En lo relacionado con los institutos adscritos a la Universidad Nacional de Colombia, se cuenta con 27 entidades que trabajan el tema de ambiente y biodiversidad; se mencionan por ejemplo el Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, el Instituto de Ciencias Naturales, el Museo de Historia Natural, el Centro de Estudios de Ciencias del Mar, Cecimar, entre otras entidades que desarrollan proyectos de investigación y extensión.

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 lo concerniente al capital relacional es importante destacar la participación de 14 instituciones con las que se han realizado al menos cuatro proyectos de investigación y extensión. En la figura 16 se hacen evidentes dichas participaciones.

Figura 16. Capital relacional para la Agenda Biotecnológica



Fuente: VRI, a partir de Sistema SARA, Quipu, periodo enero 2003 a diciembre 31 de 2009.

2. VISIÓN DE FUTURO: LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PROPUESTOS

Con base en el diagnóstico planteado anteriormente y en las discusiones realizadas por el grupo de expertos, se establecieron el objetivo principal y los específicos de la agenda, las metas, el alcance, los retos y las perspectivas desde la visión de los planes de desarrollo; asimismo, se definieron las temáticas en las que la Agenda Biotecnología debe focalizarse, y los aspectos potenciadores e inhibidores de la misma.

2.1 Objetivo de la agenda

La Agenda Biotecnología involucra desde su definición: “La aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a parte de ellos, productos y modelos, para alterar material vivo y no vivo, para la producción de conocimiento, bienes y servicios” (OECD, 2005), teniendo como base técnicas de DNA, RNA genómica, proteínas y otras macromoléculas, ingeniería de células y cultivo de tejidos, procesos biotecnológicos, vectores RNA y genes, y bioinformática. Todo en pro de una investigación más dinámica y prospectiva de la comunidad académica y científica de la Universidad Nacional de Colombia y el entorno en el que se desenvuelve.

2.2 Objetivos específicos

- Proponer los ejes temáticos en biotecnología para la Universidad Nacional de Colombia, UN.
- Potenciar las capacidades de investigación y extensión (I+E) en lo relacionado con infraestructura y personal de la UN en biotecnología.
- Responder a través de la biotecnología a las necesidades (salud, ambiente, sector agropecuario e industrial) del medio social (empresas, Estado, comunidades).
- Fomentar la interacción con las comunidades nacionales e internacionales en el área de la biotecnología.
- Generar conocimiento y tecnología propia en biotecnología.
- Implementar mecanismos de transferencia del conocimiento en biotecnología a la comunidad.
- Propender por el uso sostenible de la biodiversidad colombiana respetando los derechos de las comunidades sobre su conocimiento tradicional y su territorio.

- Construir conjuntamente una visión de la biotecnología, que involucre los asuntos de bioética, acceso a recursos genéticos, derechos de propiedad intelectual y bionegocios, entre otros.
- Apoyar la formación de masa crítica para impulsar la biotecnología en el país.
- Involucrar a los actores nacionales e internacionales para construir redes estratégicas de conocimiento en el área de la biotecnología.
- Facilitar la búsqueda de financiación.
- Institucionalizar la participación de los profesores de la UN en empresas de base tecnológica.

2.3 Metas

- Insertar la Agenda Biotecnología en el Plan de Desarrollo 2012-2015 de la UN.
- Lograr que la Vicerrectoría de Investigación, VRI, realice la apertura entre 2012-2015, de tres convocatorias específicas para la financiación de proyectos correspondiente a la Agenda Biotecnología.
- Estructurar cuatro proyectos conjuntos con gremios de la producción o instituciones del Estado entre 2012-2015.
- Estructurar un diplomado nacional intersedes sobre biotecnología entre 2012-2015.
- Institucionalizar una red nacional con proyección internacional en biotecnología.
- Generar un *spin-off* basado en conocimiento y tecnología propia.
- Realizar una capacitación sobre acceso a recursos genéticos (que involucre conocimiento tradicional).
- Efectuar un simposio nacional sobre las relaciones de la biotecnología con: acceso a recursos genéticos, derechos de propiedad intelectual, bioética y bionegocios.
- Lograr que la VRI realice una convocatoria de movilidad internacional para la conformación de una red en biotecnología.
- Institucionalizar, en la UN, la política para la cofinanciación en recursos frescos de proyectos de investigación en biotecnología.

7 *Spin-offs* es un término anglosajón que expresa la idea de la creación de nuevas empresas en el seno de otras empresas u organizaciones ya existentes, sean públicas o privadas, que actúan como incubadoras. Conocida también como empresa de base tecnológica, suele estar ligada a la Universidad y contribuir a la transferencia de hallazgos científicos desde esta al sector social en forma de productos innovadores (Universia, 2008).

2.4 Retos y perspectivas

Partiendo de una revisión de las políticas públicas nacionales y regionales, así como de los Planes de Desarrollo en el área de biotecnología, la Agenda Biotecnología ha planteado los siguientes retos y perspectivas en pro del desarrollo de la misma:

- a) Avanzar en cultivos que requieran menor uso de plaguicidas químicos (mediante métodos de control biológico basados en microorganismos y el uso de genes foráneos que expresen fenotipos de interés) que puedan crecer en condiciones adversas o mejoren las características nutricionales de los alimentos.
- b) Avanzar en la biosíntesis de sustancias capaces de sustituir las obtenidas por métodos industriales.
- c) Desarrollar compuestos biodegradables o que reduzcan el impacto de sustancias contaminantes.
- d) Implementar nuevos esquemas de bionegocios en donde se incentive la participación de capital de riesgo o se incorporen recursos gubernamentales o de cooperación internacional.

2.5 Potenciadores e inhibidores

Los expertos de la Agenda Biotecnología, previa discusión y consenso, proponen los elementos potenciadores⁸ e inhibidores⁹ que se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Potenciadores e inhibidores correspondientes a la Agenda Biotecnología

Potenciadores	Inhibidores
Número de grupos de investigadores en la temática de biotecnología en la UN.	Procesos administrativos y normas asociados a I+E que afectan negativamente la I+E.
Existencia de más recursos de infraestructura.	Áreas curriculares existentes en biotecnología.
Vigencia y pertinencia del tema en el contexto global.	Porcentajes de presupuesto destinados a biotecnología.

8 Potenciador: situación que incide positivamente en el cumplimiento de las metas propuestas en la agenda.

9 Inhibidor: situación que va en detrimento de cumplir las metas en la agenda.

Continuación tabla 4. Potenciadores e inhibidores correspondientes a la Agenda Biotecnología

Potenciadores	Inhibidores
Planes nacionales y regionales de desarrollo.	Presupuesto de la empresa privada y gobiernos locales para el desarrollo del tema de biotecnología.
Presencia de la UN en todas las regiones naturales de Colombia.	Integración de los actores en el área.
Existencia de prácticas exitosas en la Universidad Nacional de Colombia en investigación y extensión en biotecnología.	Situación de violencia en el país.
	Niveles de transferencia de información entre investigadores y comunidades locales.

Fuente: Elaboración propia a partir de discusiones con los expertos de la Agenda Biotecnología.

2.6 Propuesta inicial de las temáticas existentes y emergentes

Producto de las discusiones y consideraciones por parte del grupo de expertos, se define la estructura del árbol del conocimiento de la Agenda Biotecnología, como se muestra en la figura 17. El árbol surge después de la revisión del panorama internacional y nacional de las tendencias, y de revisar las capacidades de investigación de la Universidad.

Cabe anotar que estas áreas son propuestas en la medida en que darán respuesta a problemas nacionales de orden científico y tecnológico. Esto se realiza con la pretensión de que la agenda y sus temas sean estratégicos para la Universidad, aprovechando las fortalezas que esta tiene, además de contribuir a disminuir la pérdida del capital intelectual y a promover relevos generacionales con mecanismos claros y pertinentes para la institución.

Figura 17. Árbol del conocimiento de la Agenda Biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de los expertos de la agenda.

2.7 Determinación de énfasis institucionales

Partiendo de las áreas del árbol de biotecnología propuesto por el grupo de expertos, se procede a presentar el número de grupos de investigación que hacen parte de cada una de las ramas del árbol del conocimiento (ver figura 18) con el objetivo de ilustrar a la comunidad académica sobre las fortalezas y debilidades dentro del núcleo investigativo de la Universidad.

Figura 18. Margarita de las capacidades acumuladas para la Agenda Biotecnología¹⁰

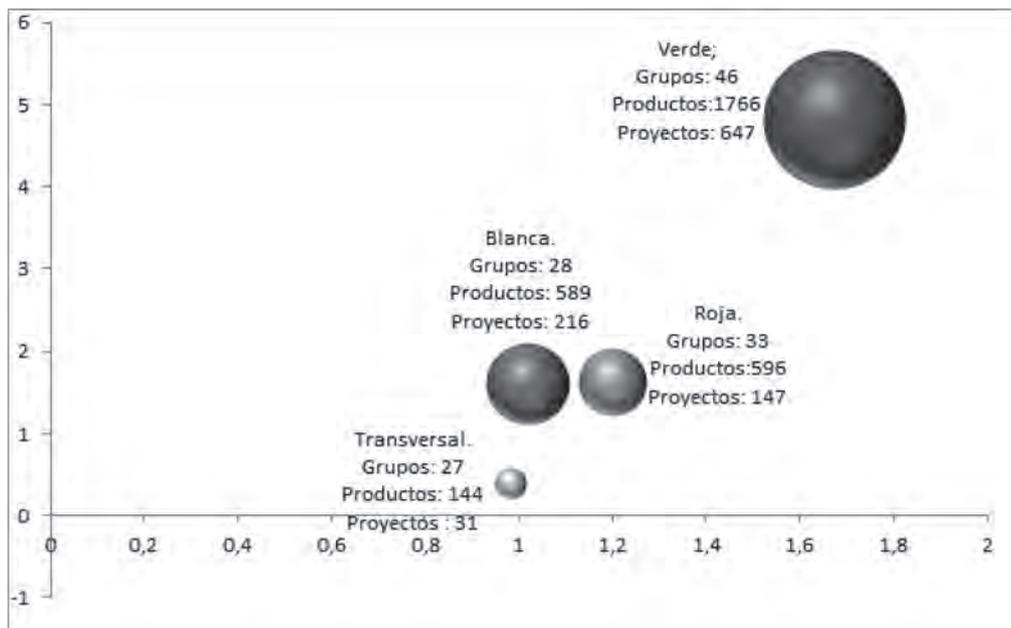
Fuente: VRI, a partir de Comité de Puntaje, SARA y Quiipu en el período 2000 a 31 de diciembre de 2010.

En la figura anterior se puede evidenciar que en la Universidad Nacional de Colombia la mayoría de los trabajos tanto de investigación como de extensión se encuentran dentro del área de biotecnología verde. Esto en parte se debe a que dicha área es una fortaleza para Colombia por su riqueza medioambiental y agraria, y a los grandes avances que se han hecho en materia de investigación de dichos temas. Si bien el área de biotecnología roja es el referente mundial en materia de biotecnología, y es hacia donde apuntan las tendencias en investigación para los próximos años, se encuentra

10 Descriptores: Deshidratación, Antioxidante, Organismo entomopatógeno, Manejo biológico de malezas, Inoculante biológico, Biocontrol, Transgénicos, Material genético, Bioplaguicida, Estimulador de crecimiento, Solanáceas, Fitoalexinas, Fármacos, Caracterización, Microsatélite, Genoma, Genómica, Agroindustria, Aceite, Aditivo, Colorante, Fermentación, Biofertilizante, Agente microbial, Bioquímico, Regulador de crecimiento, Bioinsumo, Biopesticida, Ingeniería genética, Cultivo transgénico, Biorreactor, Principios activos de Rutáceos, Myristicáceas, Euforbiáceas, Aromas de frutas, Antifúngicos, Antiinflamatorios, Antihipertensivos, Anticancerígenos, Anti-Sida, Antiparasitarios, Biopesticidas, Plantas medicinales, Cultivos células madre, Biofarmacéuticos, Farmacogenética, Indicadores de contaminación, Biorremediación, Bioprospección, Biofiltros, Biosensores, Conservación biodiversidad, Residuos de palma de aceite, Jugos de frutas tropicales, Extrusión termoplástica, Nutraceutico, Bioindustria, Biorremediación nutrigénica, Levadura, Biofilm, Bioindicador, Bioingeniería, Biorreactor, Biosíntesis, Bioconversión, Bioproceso, Bionegocio, Bioprospección, Bioética, Bioseguridad, Bioenergía, Biocomercio, Biología molecular, Bioquímica, Cultivo celular, Enzima, Fermentación, Genética, Microbiología, Proteínas, Metabolitos, Citología, ADN, Marcadores, Transformación, ADN Recombinante, Cultivo de tejidos, Cultivo in vitro.

en un segundo lugar dentro de las capacidades institucionales. Esto puede ser el reflejo de la escasa tecnología con que se cuenta en Colombia para investigar en dicha área, y a las grandes sumas de inversión que esta demanda. La biotecnología blanca se encuentra muy cerca de la biotecnología roja, mientras que los temas transversales están tomando mayor fuerza a nivel mundial. Esta comparación se puede evidenciar de una manera más clara en la figura 19, donde se ilustra la preponderancia que tiene la biotecnología verde a nivel institucional.

Figura 19. Dispersión de las capacidades institucionales para la Agenda Biotecnología por áreas

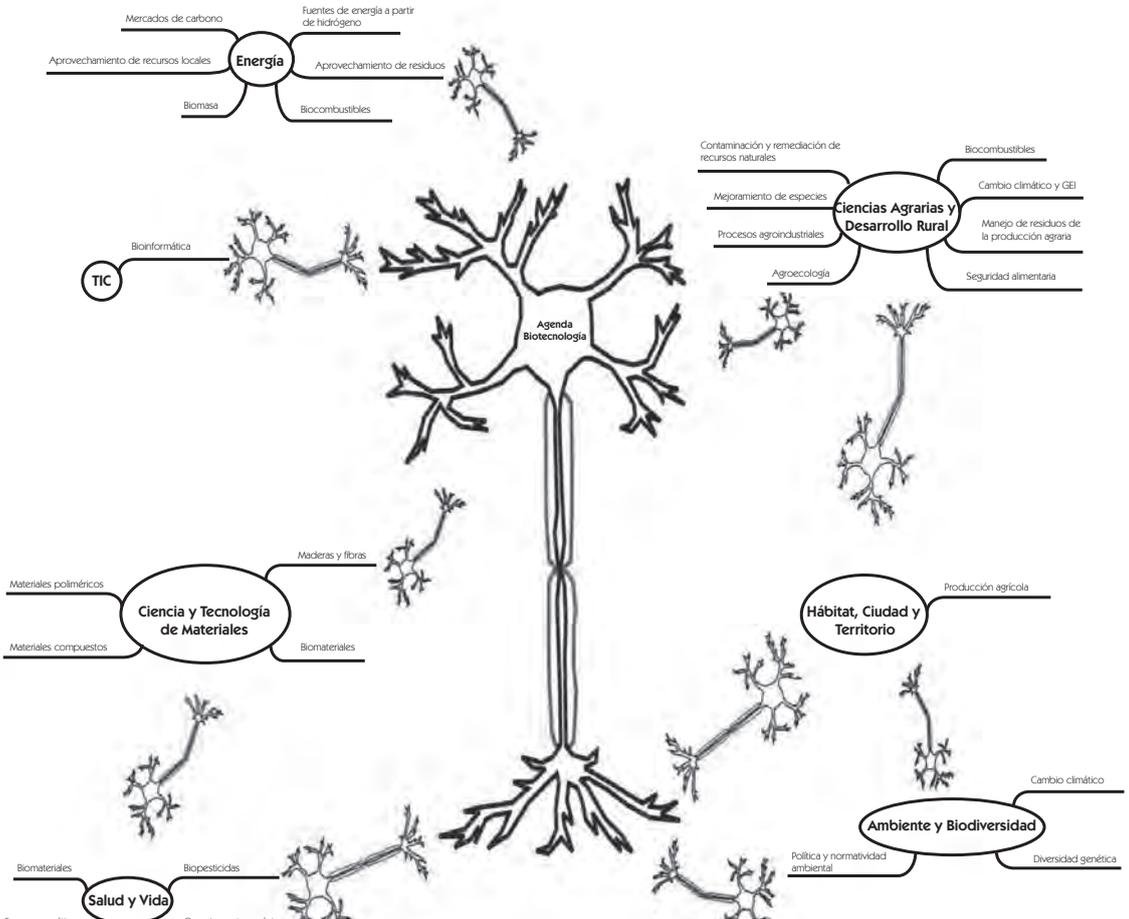


Fuente: VRI, a partir de sistema SARA, Quipu y Comité de Puntaje, a 31 de diciembre de 2010.

2.8 Elementos vinculantes

Los expertos de la Agenda Biotecnología han indicado de manera preliminar algunos temas de la agenda que pueden estar relacionados con otras agendas; esto, con el objetivo de fortalecer el desarrollo de la investigación interdisciplinar en la Universidad, permitiendo así contar con grupos más robustos y eficientes. Esta relación es denominada elementos vinculantes, y se detalla en la denominada “red neuronal” propuesta por el vicerrector de Investigación Rafael Molina (ver figura 20).

Figura 20. Red neuronal de la Agenda Biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de una discusión con los expertos de la agenda.

En la figura anterior aparece la Agenda Biotecnología en el centro de la misma, representada en forma de neurona, y a su alrededor se incluyen las agendas con las cuales esta tiene relación. A su vez, se ilustran los temas en los cuales tiene relación la Agenda Biotecnología con cada una de las agendas.

3. ANÁLISIS PROSPECTIVO PARA CONSOLIDAR UNA VISIÓN DE FUTURO DE LA AGENDA BIOTECNOLOGÍA

Una vez presentado el documento preliminar de la Agenda Biotecnología, y a partir de la socialización con los expertos, se diseña, construye y valida la encuesta prospectiva, instrumento por el cual se somete a discusión el documento con la comunidad académica de la Universidad Nacional de Colombia. La encuesta se basa en el método Delphi y se compone de una serie de preguntas relacionadas con los componentes de la agenda (objetivos, potenciadores e inhibidores, alcances, elementos vinculantes, entre otros), y dirigida principalmente a directores e investigadores de los grupos de investigación pertenecientes a la Agenda Biotecnología.

Este capítulo resume de manera ejecutiva los resultados de los dos lanzamientos de la encuesta prospectiva de la Agenda Biotecnología (uno a directores y otro a investigadores), que realimentan el documento propuesto por el equipo de expertos; además recoge a manera de ejemplo los posibles proyectos sugeridos por los profesores encuestados.

3.1 Resumen ejecutivo de los resultados de la encuesta prospectiva

La publicación de la encuesta prospectiva de la Agenda Biotecnología se realiza en dos lanzamientos. El primero se dirige a los directores de grupos de investigación, y el segundo a los docentes pertenecientes a grupos de investigación identificados dentro de las capacidades de la agenda que se encuentran vinculados a la UN.

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 de la Agenda Biotecnología; los resultados detallados de la encuesta pueden consultarse en la página web de la Vicerrectoría de Investigación. Los objetivos específicos son: i) validar los insumos previamente construidos y ii) establecer acuerdos en tiempo y prioridad de los temas para su investigación e implementación en la Agenda Biotecnología.

Para garantizar mayor participación y prontitud en el diligenciamiento de la encuesta, esta se publica en internet, lo que facilita el acceso de los docentes invitados en cualquier momento.

A continuación se describen los principales resultados:

3.1.1 Ficha técnica de la encuesta

La encuesta la realizan los expertos en las diferentes áreas de la Agenda Biotecnología. Se envían invitaciones por correo electrónico a 129 directores y a 474 investigadores pertenecientes a los grupos de investigación, identificados en las capacidades de la agenda.

En las tablas 5 y 6 se presentan las fichas técnicas de las encuestas dirigidas a directores e investigadores de la Agenda Biotecnología.

Tabla 5. Ficha técnica de la encuesta prospectiva primera recolección, población directores de grupos de investigación

FICHA TÉCNICA ENCUESTA PROSPECTIVA-AGENDA BIOTECNOLOGÍA	
Realizada por:	Expertos en las áreas de la Agenda de Biotecnología 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.
Tiempo de aplicación:	6 de julio a 10 de agosto de 2012. Duración 4 semanas.
Población:	Directores de 129 grupos de investigación, identificados dentro de las capacidades de la agenda de Biotecnología, que son o han tenido algún vínculo con la Universidad Nacional de Colombia como docentes de planta.
Unidad de muestreo:	129 directores de grupos de investigación que hacen parte de la Agenda Biotecnología
Respuestas recolectadas:	23 respuestas de las invitaciones enviadas a directores de grupos de investigación.

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

Tabla 6. Ficha técnica de la encuesta prospectiva segunda recolección, población investigadores de grupos de investigación

FICHA TÉCNICA ENCUESTA PROSPECTIVA-AGENDA BIOTECNOLOGÍA	
Realizada por:	Expertos en las áreas de la Agenda de Biotecnología 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.
Tiempo de aplicación:	6 de julio a 10 de agosto de 2012. Duración 4 semanas.
Población:	Investigadores de 129 grupos de investigación, identificados dentro de las capacidades de la Agenda de Biotecnología, que son o han tenido algún vínculo con la Universidad Nacional de Colombia como docentes de planta.
Unidad de muestreo:	474 investigadores miembros de grupos de investigación que hacen parte de la Agenda de Biotecnología.
Respuestas recolectadas:	57 respuestas de las invitaciones enviadas a investigadores de grupos de investigación.

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

3.1.2 Perfil de los encuestados

El conjunto de personas encuestadas lo conforman los directores e investigadores de los grupos de investigación identificados en las capacidades institucionales para la Agenda Biotecnología en la Universidad; este insumo fue suministrado por la VRI actualizado a marzo de 2012. Así, a partir de la base de datos de los grupos de investigación, se envía la invitación tanto a directores como a investigadores de los 129 grupos de investigación de la agenda.

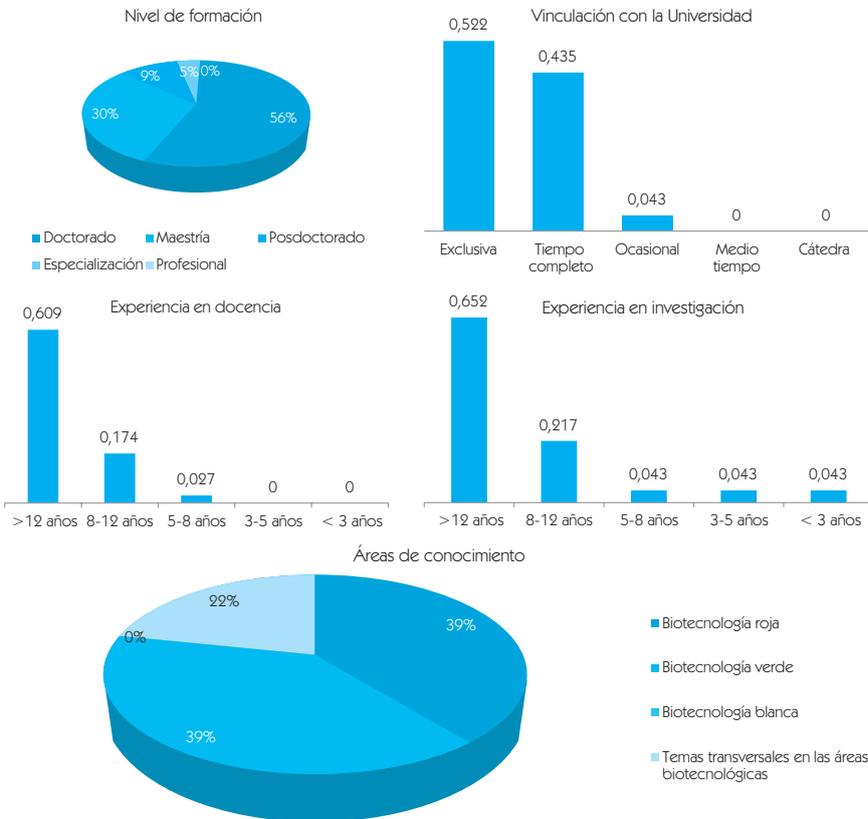
Al inicio del proyecto, la Agenda Biotecnología contaba con 133 grupos de investigación; sin embargo, luego de la actualización de las bases de datos, se evidencia una disminución de los grupos porque algunos ya no se encuentran dentro del insumo y no están registrados en Colciencias.

Dentro de la caracterización de los directores de los grupos de investigación se tiene que el 47,8% es masculino y el 52,2% es femenino. El 8,7% ha realizado estancias posdoctorales, el 56,5% tiene formación doctoral y el 30,4% formación de maestría. El 52,2% de los directores está vinculado con la Universidad en dedicación exclusiva, y el 43,5% en tiempo completo. El 60,9% tiene más de 12 años de experiencia en

docencia y el 65,2% más de 12 años de experiencia en investigación; el detalle se puede ver en la figura 21.

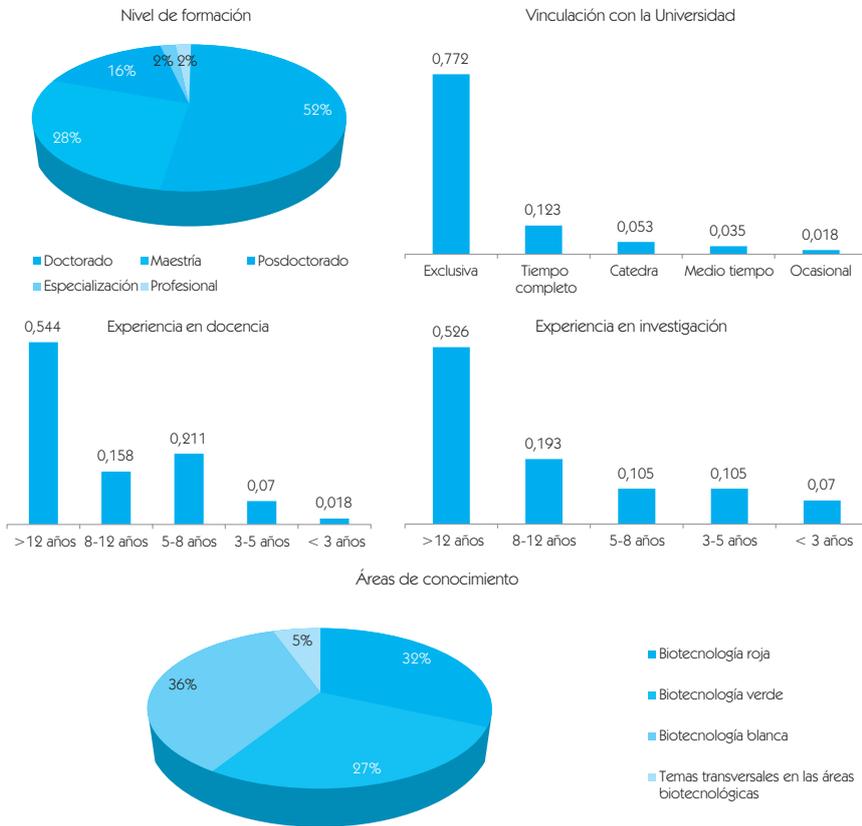
Con respecto a los investigadores de los grupos de investigación que respondieron a la encuesta, el 61,4% corresponde a investigadores de género masculino y el restante 38,6% a investigadoras mujeres; de ellos, el 15,8% ha realizado estancias posdoctorales, el 52,6% tiene formación doctoral, el 28,1% formación de maestría y el 1,8% formación en especialización. Su vinculación está dada por el 77,2% de dedicación exclusiva y el 12,3% de tiempo completo, donde el 54,4% tiene más de 12 años de experiencia en docencia y el 52,6% más de 12 años de experiencia en investigación; el detalle se puede ver en la figura 22.

Figura 21. Resumen gráfico primera aplicación encuesta prospectiva a directores de grupos de investigación de la UN. Agenda Biotecnología



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

Figura 22. Resumen gráfico segunda aplicación encuesta prospectiva a investigadores de grupos de investigación de la UN. Agenda Biotecnología



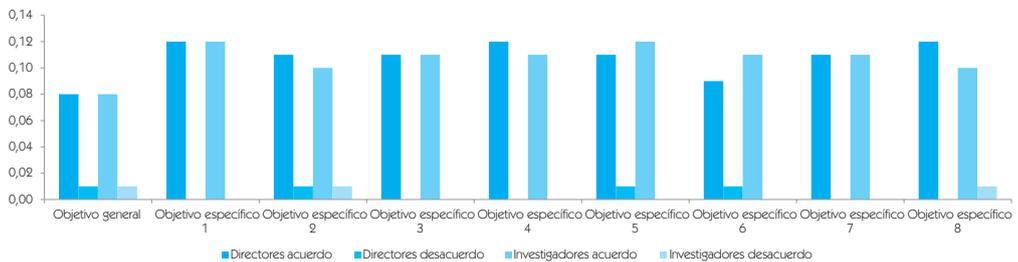
Fuente: Autores con base en la encuesta prospectiva de la Agenda Biotecnología.

3.1.3 Valoración de objetivos, metas y alcance

El 82,3% de los directores y el 87,8 % de los investigadores de los grupos de investigación de la Agenda Biotecnología están de acuerdo con el objetivo general de la agenda, que es responder a través de la biotecnología a las necesidades en áreas como la salud, ambiente, sector agropecuario, y del medio social (empresas, Estado, comunidades). El 89,7% de los directores y el 90,1% de los investigadores están de acuerdo con la descripción de los objetivos específicos. El 21,7% de los directores y el 21,8% de los investigadores presentan sugerencias de nuevos objetivos o modificaciones de los mismos. Algunas de las sugerencias se basan en el fortalecimiento del apoyo a pasantías de profesores y estudiantes, generar una escuela de pensamiento dirigida hacia la gestión, y el emprendimiento de empresas de base tecnológica a partir de

unidades académicas que administren programas relacionados con la biotecnología, fortalecer la infraestructura física y técnica de la Universidad para trabajar en temáticas de biotecnología, entre otras sugerencias. En la figura 23 se observa la valoración del grado de acuerdo de los objetivos propuestos para la Agenda Biotecnología por parte de los profesores encuestados.

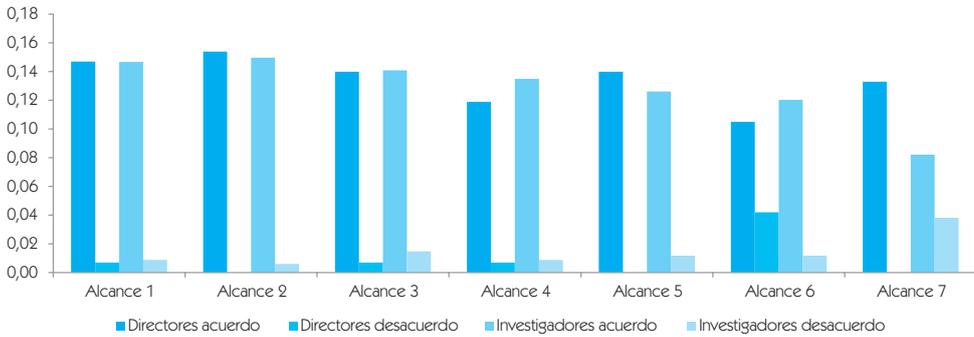
Figura 23. Valoración del grado de acuerdo de los objetivos propuestos en la Agenda Biotecnología por parte de los directores e investigadores de grupos de investigación



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

En la figura 24 se muestra el grado de acuerdo de los alcances propuestos en la Agenda Biotecnología, donde el 83,2% de los directores y el 76,9% de los investigadores se encuentran de acuerdo con los alcances definidos para la Agenda Biotecnología. El 21,7 % de los directores y el 36,4% de los investigadores presentan sugerencias de nuevos o modificaciones de los alcances para la agenda. Algunas de las sugerencias hechas por parte de los encuestados son: abrir una convocatoria específica para el estudio de los conflictos éticos en biotecnología, que el *spin off* sea una realidad en el corto plazo y se reglamente como tarea prioritaria; al final se presentan sugerencias con respecto al periodo de tiempo de los alcances: los investigadores consideran que el periodo considerado (2012) es muy corto para cumplir con las metas propuestas; así mismo propone expandir ese periodo a más tiempo para poder definir de manera adecuada hasta dónde puede llegar la Agenda Biotecnología.

Figura 24. Valoración del grado de acuerdo de los alcances propuestos en la Agenda Biotecnología



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

3.1.4 Valoración de potenciadores e inhibidores

Los directores encuestados indicaron en este aspecto que diez de los trece elementos propuestos corresponden a potenciadores y tres a elementos inhibidores, mientras los investigadores indicaron que ocho de los elementos corresponden a potenciadores y cinco a inhibidores.

Se lista a continuación los cinco (5) potenciadores mejor valorados en las dos encuestas:

- Vigencia y pertinencia del tema en el contexto global.
- Presencia de la Universidad Nacional en todas las regiones naturales de Colombia
- Existencia de prácticas exitosas de la Universidad Nacional en investigación y extensión (I+E) en biotecnología.
- Número de grupos de investigadores en la temática de biotecnología en la Universidad Nacional.
- Existencia de más recursos de infraestructura.

Los cinco (5) elementos inhibidores valorados como tales por la mayoría de los encuestados son:

- Presupuesto de la empresa privada y gobiernos locales para el desarrollo del tema de biotecnología.
- Niveles de transferencia de información entre investigadores y comunidades locales.
- Porcentajes de presupuestos destinados a biotecnología.
- Procesos administrativos y normas asociados a I+E que afectan negativamente la I+E.
- Situación de violencia en el país.

3.1.5 Valoración de las áreas temáticas

Para la valoración de las áreas temáticas propuestas se observa que las áreas principales de investigación de los directores de grupos de investigación son Biotecnología verde representado por el 39,1% de los encuestados y Biotecnología roja con el 39,1% de los participantes, de los cuales el 39,13% manifiesta tener un grado de experticia igual a 5 (siendo 5 conocimiento especializado y 1 conocimiento general) en el área seleccionada. Con respecto a los investigadores, el 35,7% trabaja en el área de Biotecnología blanca, el 32,1% en Biotecnología roja, el 26,8% en Biotecnología verde, el restante 5,4% trabaja en el área de temas transversales de las áreas biotecnológicas, donde 21,4% manifiesta tener un grado de experticia igual a 5 en el área seleccionada (siendo 5 conocimiento especializado y 1 conocimiento general).

Los profesores encuestados valoraron los elementos más importantes que definen el papel de la investigación en cada uno de los temas de cada área: importancia en investigación, capacidad de la Universidad para el desarrollo de la investigación, su aplicación industrial y social y el tiempo de materialización en años de los resultados de la investigación en cada tema. A continuación se describe el análisis de resultados por cada área de la Agenda Biotecnología.

El 69,8% de los directores y el 80,6% de los investigadores consideran que los temas de Biotecnología roja tienen aplicación industrial, y el 88,6% de los directores y el 96,2% de los investigadores consideran que estos temas tienen aplicación social. Para los temas de Biotecnología verde, el 94% de los directores y el 96,3% consideran que tienen aplicación industrial, mientras que el 97,3% de los investigadores opina que tienen aplicación social. En Biotecnología blanca, el 97,9% de los investigadores encuestados que seleccionaron esta área considera que los temas tienen aplicación industrial y el 87,6% aplicación social; los directores no valoraron esta área. Para los temas transversales en las áreas biotecnológicas, el 90% de los directores y el 88,9% de los investigadores opina que tienen aplicación industrial, y el 100% de los directores e investigadores consideran que estos temas tienen aplicación social.

El área de Biotecnología roja fue seleccionada por el 39,1% de los directores de grupos de investigación de la agenda y por el 31,6% de los investigadores. Se resalta la importancia de investigación de los temas: nuevas dianas terapéuticas, nuevos fármacos y nuevas vacunas, según el 75% de los directores y el 66,7% de los investigadores, seguido por el tema de farmacogenética según el 71,4% de los directores y el 68,9% de los directores.

El área de Biotecnología verde fue seleccionada por el 39,1% de los directores y el 26,3% de los investigadores. El tema más importante en investigación según el 88,9% de los directores es Biofertilizantes y bioplaguicidas, y para el 66,7% de los investigadores el tema más importante es Organismos resistentes a estrés biótico y abiótico.

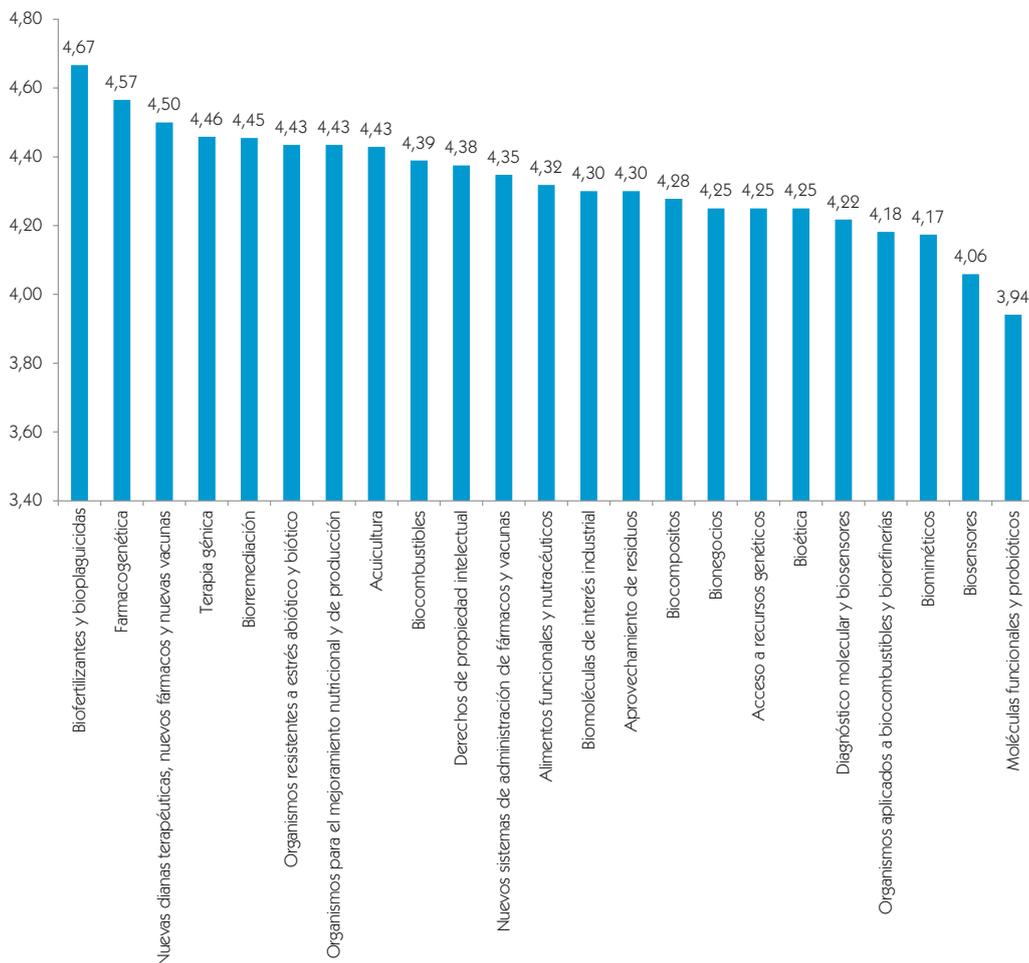
Para el área de Biotecnología blanca, el 60% de los investigadores seleccionó el tema de Biocombustibles como tema principal en materia de investigación, seguido por Biomoléculas de interés industrial según el 45% de los investigadores. Los directores no valoraron esta área.

El 21,7% de los directores y el 5,3% de los investigadores seleccionaron el área de Temas transversales en las áreas biotecnológicas como área principal de investigación. Según el 100% de los directores, todos los temas de investigación son principales, y para el 100% de los investigadores el tema principal de esta área es Acceso a recursos genéticos.

La capacidad de la Universidad Nacional de Colombia para el desarrollo de la investigación en el área de Biotecnología roja, según lo percibido por el 60,8% de los directores y el 57,7% de los investigadores, es media. El área de Biotecnología verde presenta un comportamiento similar, pues los directores y los investigadores, con un 66,7% y 62,4% respectivamente, consideran que la capacidad de la Universidad para el desarrollo de los temas de esta área es media. Sucede lo mismo con el área de Biotecnología blanca, con un porcentaje de 47,8% de los investigadores que consideran media la capacidad UN para desarrollar investigaciones en estos temas; para los temas del área de temas transversales de las áreas biotecnológicas el 47,5% de los directores y el 91,7% de los investigadores consideran media la capacidad.

En la figura 25 se visualiza el consolidado del promedio de importancia de investigación para los temas de la Agenda Biotecnología; en ella se incluyen los resultados de ambas encuestas (directores e investigadores).

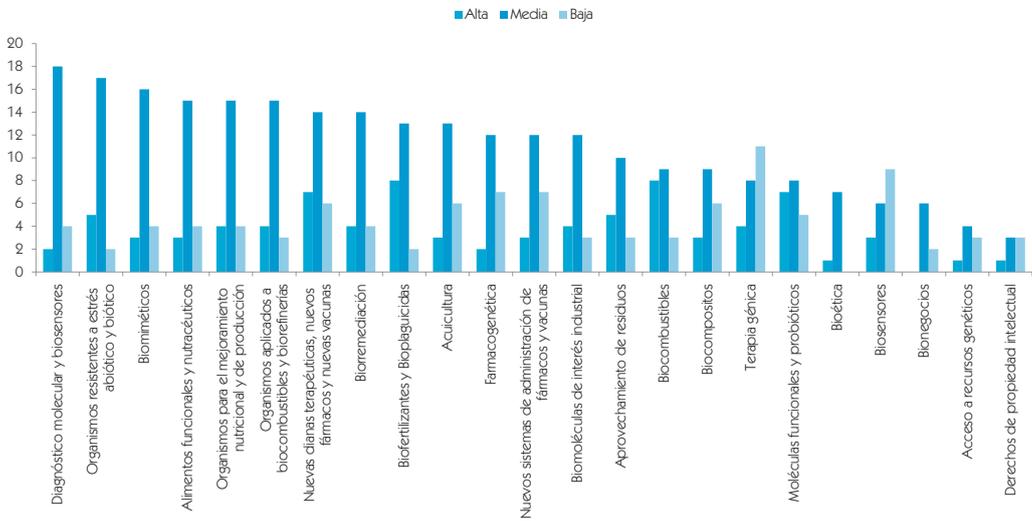
Figura 25. Promedio de importancia de investigación para el desarrollo de los temas



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

La figura 26 presenta el consolidado de las capacidades percibidas por los profesores encuestados para el desarrollo de la investigación en todos los temas que componen la Agenda Biotecnología, donde se evidencia que el tema con mayor capacidad para desarrollar investigación es Diagnóstico molecular y biosensores, seguido por el tema de Organismos resistentes a estrés abiótico y biótico, y continuando en orden de importancia con los temas Organismos para el mejoramiento nutricional y de producción y Organismos aplicados a biocombustibles y biorrefinerías.

Figura 26. Capacidades de la UN para desarrollar investigación en los temas de la Agenda Biotecnología



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

Los directores e investigadores encuestados valoraron el tiempo de materialización en años de los resultados de investigación en los temas que componen cada área de la agenda. Para el área de Biotecnología roja, el intervalo de tiempo está entre 6 y 8 años, según el 38,6% de los directores y el 34,5% de los investigadores. Para los temas del área de Biotecnología verde, el 35,3% de los directores considera que el tiempo de materialización de la investigación está entre 3 y 5 años, mientras que los investigadores, en un 47,1%, consideran que el tiempo está entre 6 y 8 años.

El 42,6% de los investigadores expresa que los resultados de la investigación en los temas del área de Biotecnología blanca se materializarán en un intervalo de 3 a 5 años. Los directores no valoraron esta área. Para el área de temas transversales de las áreas biotecnológicas, el 35% de los directores considera que la investigación en estos temas se materializará en un intervalo de 3 a 5 años, mientras que los investigadores, en un 66,7%, consideran que el tiempo es de 8 años o más. El detalle puede verse en la tabla 7.

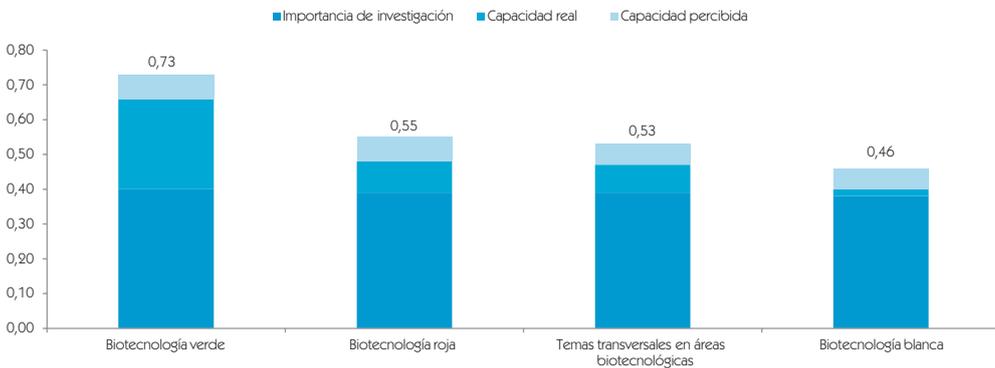
Tabla 7. Tiempo de materialización sugerido por los encuestados en años de los temas de la agenda

TEMAS	AÑOS DE MATERIALIZACIÓN			
	1 a 2	3 a 5	6 a 8	Más de 8
Nuevas dianas terapéuticas, nuevos fármacos y nuevas vacunas	2	6	10	8
Farmacogenética	1	2	12	5
Terapia génica	2	4	8	8
Diagnóstico molecular y biosensores	2	11	7	3
Nuevos sistemas de administración de fármacos y vacunas	2	7	4	8
Biomiméticos	1	9	9	3
Alimentos funcionales y nutracéuticos	2	9	5	4
Biofertilizantes y bioplaguicidas	3	7	10	3
Organismos resistentes a estrés abiótico y biótico	0	9	10	5
Biorremediación	1	7	11	3
Acuicultura	0	8	9	5
Organismos para el mejoramiento nutricional y de producción	2	7	6	8
Organismos aplicados a biocombustibles y biorrefinerías	1	3	11	7
Biomoléculas de interés industrial	2	9	5	3
Biocombustibles	2	13	2	2
Biocompositos	2	5	4	6
Aprovechamiento de residuos	3	8	4	1
Biosensores	0	4	7	6
Moléculas funcionales y probióticos	4	7	6	3
Bionegocios	0	1	3	4
Derechos de propiedad intelectual	1	2	2	3
Acceso a recursos genéticos	1	2	2	3
Bioética	2	2	1	3

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

Finalmente, se ha diseñado un índice que permite valorar los temas de las cuatro áreas de la Agenda Biotecnología teniendo en cuenta las capacidades reales, las capacidades percibidas en las encuestas prospectivas y la importancia de investigación percibida; de ello se obtiene un único valor por área. Para la construcción del índice se normalizaron los tres valores seleccionados y se les asignó un peso de 0,45 para el elemento de importancia de investigación y capacidad real, mientras que para la capacidad percibida se asignó un peso de 0,1. En la figura 27 se presenta el índice y sus componentes, donde las tres áreas con un índice mayor son el área de Biotecnología verde, Biotecnología blanca y Temas transversales en áreas biotecnológicas, en orden descendente.

Figura 27. Índice de importancia de investigación para las áreas de la Agenda Biotecnología



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

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

La Agenda Biotecnología en la duración del proyecto realizó cuatro jornadas de discusión: la jornada nacional de divulgación de avances de las agendas, la convención nacional de expertos y dos jornadas de discusión en la sede Bogotá. La primera de ellas 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, y 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 Biotecnología, la presentación se originó desde la sede Bogotá el 16 de febrero de 2012, y contó con la presencia de 34 profesores en las sedes Bogotá, Medellín, Palmira, Manizales, Orinoquia y Caribe incluyendo 4 expertos de la agenda. En esta jornada como conclusión se propone incluir dentro de los retos y perspectivas de la agenda la necesidad como Universidad de aportar en la discusión, la construcción y puesta en marcha, así como la posterior supervisión de la regulación de los biológicos y biotecnológicos. Igualmente se sugiere el establecimiento de las prioridades en investigación, para la distribución de recursos para la investigación. Así mismo se discute sobre una estrategia dentro de la Universidad Nacional para facilitar a los investigadores los permisos de acceso a recursos de la colección de organismos vivos, que es la base para el estudio biotecnológico. Adicionalmente se evidencia la importancia de incluir el tema de educación en la Agenda Biotecnología, no solo desde la educación superior, sino desde la educación básica y media, de manera que se busque también la relación entre la biotecnología dentro de la Universidad Nacional y el Programa Nacional de Biotecnología de Colciencias. Gracias a la nueva Ley de regalías, la estructura de los recursos para investigación se transformará y se realizará bajo las bases de la regionalización y la interinstitucionalidad de la Universidad.

En las jornadas de discusión de la sede Bogotá, los expertos analizaron y validaron los documentos construidos de la agenda. Se concluyó que todos los investigadores en biotecnología trabajan en áreas muy diversas, lo cual dificulta la comunicación entre los investigadores. Sin embargo, se propuso realizar un programa de integración e interacción entre investigadores de áreas afines con el objetivo de reconocerse y crear confianza entre investigadores, en aras de trabajar juntos en el futuro, gracias a políticas integradoras que generen seguridad, ya que ese es el pilar del trabajo en equipo.

3.3 Proyectos propuestos por la comunidad académica

En este aparte, los expertos de la Agenda Biotecnología propusieron cuatro tipos de proyectos sobre los cuales se podría generar interés para los inversionistas o socios estratégicos de la agenda. Estos proyectos incluyen proyectos de investigación, formación, extensión y oficinas de apoyo; en la tabla 8 se presenta la descripción de cada uno de los proyectos propuestos por el grupo de expertos de la agenda. Posteriormente, la tabla 9 muestra los posibles proyectos propuestos por los directores e investigadores de grupos de investigación encuestados; estos proyectos están relacionados con las temáticas de la Agenda Biotecnología. Es necesario aclarar que el listado de proyectos propuesto por los encuestados sigue abierto, y por tanto lo que se muestra es un registro de sugerencias expresadas por los profesores que respondieron la encuesta.

Tabla 8. Proyectos propuestos por los expertos de la Agenda Biotecnología

Tipo de proyecto	Descripción	Posibles costos millones de pesos en 3 años	Descripción de los costos	Ejemplos
Proyectos de Investigación (I)	Ya existen grupos de investigación que trabajan en dichos temas.	1.200	Cuatro proyectos en 3 años de \$300 millones cada uno	Desarrollo de cultivos genéticamente modificados, producción de bioetanol, desarrollo de vacunas, entre otros.
Proyectos en Formación (F)	Aún no existen grupos dentro de la Universidad que investiguen en estos temas.	750	Formación de cinco doctores con un costo de \$150 millones cada uno.	Investigadores doctorales en biocompositos, formación de especialistas en propiedad intelectual y biotecnología, entre otros.
Proyectos de Extensión (E)	Ya existe la alianza entre los investigadores y el sector público y/o privado para usar los productos de investigación.	100	Apoyo para la transferencia de tecnología.	Escalamientos, prototipos, planes de negocio, participación en ruedas de negocios, entre otros.
Oficinas de Apoyo (OA)	Áreas en las que se necesita un trabajo adicional para respaldar la actividad de investigación en Biotecnología, en términos de propiedad intelectual, negocios, acceso a recursos genéticos y bioética.	2.000	Cuatro oficinas de apoyo. Una para cada una de las sedes principales	Trámites de acceso a recursos genéticos, solicitudes de patentes, análisis bioéticos, entre otros.

Fuente: Elaboración propia.

Con la información del árbol de conocimiento de la Agenda Biotecnología (remitirse a la figura 17), los expertos de la agenda procedieron a elaborar una matriz de proyectos. Dicha matriz (ver tabla 9) se inicia estableciendo si existen o no grupos de investigación en dichas áreas dentro de la Universidad Nacional de Colombia. Posteriormente, se determina qué tipos de proyectos son los planteados, de acuerdo con la clasificación anterior.

Tabla 9. Matriz de macroproyectos proyectados para la Agenda Biotecnología

Programas	Macroproyectos	Proyectos	Grupos dentro de la UN	Tipo de proyecto	Costo (millones de pesos)	
VERDE	Organismos resistentes a estrés biótico y abiótico	Resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas	Sí	I, E, OA	1.800	
		Tolerancia a enfermedades	Sí	I, E, OA	1.800	
	Organismos aplicados a biocombustibles y biorrefinerías	Tolerancia a condiciones adversas del suelo	No		F	750
		Adaptación al cambio climático	Sí		I, F	1.950
		Mejoramiento de materias primas	Sí		I, F	1.950
		Búsqueda de fuentes alternativas	Sí		I, F	1.950
		Microorganismos más eficientes	No		F	750
		Biosensores para detección de contaminantes: agua, suelo y aire	Sí		I, F	1.950
	Biorremediación	Control de contaminación acuática	Sí		I, E, F	2.050
		Recuperación de ambientes contaminados	No		F	750
	Biofertilizantes y bioplaguicidas	Recuperación y adaptación de suelos	Sí		I, F	1.950
		Control de plagas y enfermedades	Sí		I, E, F	2.050
	Acuicultura	Algas y microalgas para biocombustibles	Sí		I, F	1.950
		Peces con crecimiento optimizado	Sí		I, F	1.950
Organismos para el mejoramiento nutricional y de producción	Biofortificación	No		F	750	
	Mejoramiento de atributos y rendimientos	No		F	750	

Continuación tabla 9. Matriz de macroproyectos proyectados para la Agenda Biotecnología

Programas	Macroproyectos	Proyectos	Grupos dentro de la UN	Tipo de proyecto	Costo (millones de pesos)
BLANCA	Biomoléculas de interés industrial	Biopolímeros	Sí	I, E, F	2.050
		Plataformas de biorrefinerías	Sí	I, E, F	2.050
	Biocombustibles	Bioalcoholes	Sí	I, E, F	2.050
		Biodiesel	Sí	I, E, F	2.050
		Biogás y biohidrógeno	Sí	I, F	1.950
		Modificación de fibras naturales	Sí	I, F	1.950
	Biocompositos	Materiales de construcción	Sí	I, F	1.950
		Materiales para aplicaciones médicas	No	F	750
		Control de calidad de producto y proceso	No	F	750
		Biosensores para detección de energía radiactiva y compuestos explosivos	No	F	750
Aprovechamiento de residuos	Lignocelulósicos	Sí	I, E, F	2.050	
	Usos alimentarios	Sí	I, E, F	2.050	
	Usos no alimentarios	Sí	I, E, F	2.050	
ROJA	Diagnóstico molecular y biosensores	Kits de diagnóstico para plantas, animales y humanos	Sí	I, E, F	2.050
		Corrección de enfermedades metabólicas	No	F	750
	Terapia génica	Nuevos fitofármacos	Sí	I, F	1.950
		Producción optimizada y nuevos anticuerpos	No	F	750
	Nuevos sistemas de administración de fármacos y vacunas	Alternativas al uso de antibióticos	Sí	I, F	1.950
		Sistemas de liberación controlada	Sí	I, F	1.950
		Modificación de farmacocinética	No	F	750

Continuación tabla 9. Matriz de macroproyectos proyectados para la Agenda Biotecnología

Programas	Macroproyectos	Proyectos	Grupos dentro de la UN	Tipo de proyecto	Costo (millones de pesos)
ROJA	Biomiméticos	Sustitutos de piel	Sí	I, F	1.950
		Sustitutos de tejido dentario	Sí	I, F	1.950
	Farmacogenética	Farmacogenética del cáncer	Sí	I, F	1.950
		Bioimpregnación de matrices alimentarias	Sí	I, F	1.950
TRANSVERSAL	Alimentos funcionales y nutracéuticos	Prebióticos y probióticos	Sí	I, E, F	2.050
		<i>Spin-off</i>	Sí	F, OA	1.250
	Bionegocios	<i>Start-up</i>	Sí	F, OA	1.250
		Bioprospección	Sí	I, F, OA	2.450
		Ángeles inversionistas	No	N.A	N.A
		Patentes	Sí	I, F, OA	2.450
	Derechos de propiedad intelectual	Certificados de obtentor UPOV	No	F, OA	1.250
		Licenciamiento académico	No	F, OA	1.250
		Libertad de operación	Sí	I, F, OA	2.450
	Bioética	Comités de bioética	No	F, OA	1.250
Legislación nacional		No	F, OA	1.250	
Permisos de investigación en diversidad biológica		Sí	I, F, OA	2.450	
Acceso a recursos genéticos	Contratos de acceso a recursos genéticos y contratos accesorios	Sí	I, F, OA	2.450	
	Conocimiento tradicional	Sí	I, F, OA	2.450	
	Consulta previa a comunidades	No	F, OA	1.250	

Fuente: Elaboración propia a partir de un consenso con los expertos de la agenda.

Se calculan los costos que podrían generar cada uno de los subtemas de biotecnología, de acuerdo con el criterio de los expertos.

Biotecnología verde: \$25.100'000.000

Biotecnología blanca: \$22.450'000.000

Biotecnología roja: \$20.000'000.000

Área transversal: \$23.450'000.000

TOTAL : \$91.000'000.000 para un período de tres años.

Los socios estratégicos para el desarrollo de los macroproyectos y fuentes importantes de recursos son:

- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Medio Ambiente
- Colciencias
- Ingenios azucareros
- Ecopetrol (Área de Biocombustibles)
- Sector alimenticio, entre otros
- Gremios de la producción

En la encuesta prospectiva dirigida a directores e investigadores de grupos de investigación, los encuestados sugirieron algunos proyectos y temas que pueden complementar las propuestas del equipo de expertos de la Agenda Biotecnología. Estos proyectos se presentan en las tablas siguientes, y se resalta la importancia de la integración y relación entre los proyectos sugeridos por la comunidad universitaria y por los expertos de la agenda.

A continuación, las tablas de proyectos propuestos por los directores e investigadores encuestados.

Tabla 10. Propuestas de proyectos y temas de investigación para la Agenda Biotecnología por parte de los directores encuestados

	Proyectos
Directores	Acceso a recursos genéticos
	Acompañamiento a la aplicación productiva de investigaciones con un alto nivel de madurez
	Aproximación proteómica, metabolómica, genómica y fenómica en especies rurales y microorganismos de interés agrícola y ambiental
	Derechos de propiedad intelectual y biotecnología
	Desarrollo de modelos para control de enfermedades empleando animales resistentes
	Desarrollo de técnicas que permitan establecer la inmunogenicidad de productos biológicos-biotecnológicos utilizados en esquemas terapéuticos para el control-manejo de enfermedades.
	Desarrollo de un sistema integrado de evaluación metabólica de los suelos con vocación agrícola de interés (por ejemplo en cultivos como arroz, papa o en suelos de la Orinoquia) con miras al desarrollo de estrategias de optimización de toma de fertilización y asimilación de nutrientes por las plantas
	Enlaces o contactos internacionales con expertos
	Estudios de bioprospección de microorganismos, animales y plantas marinas
	Estudios económicos, financieros, de mercados, etc., de productos de investigaciones
	Gestión del conocimiento desde el laboratorio a su aplicación productiva
	Identificación, mapeo antigénico y localización sub-celular del antígeno Pf 44/22 de Plasmodium falciparum reconocido por el anticuerpo AdM 134
	Identificación, mapeo antigénico y localización sub-celular del antígeno Pf 45kDa de Plasmodium falciparum reconocido por el anticuerpo AdM 4F8
	Identificación, mapeo antigénico y localización sub-celular del antígeno Pf 68kDa de Plasmodium falciparum reconocido por el anticuerpo AdM7
	Identificación, mapeo antigénico y localización sub-celular del antígeno Pf 68kDa de Plasmodium falciparum reconocido por el anticuerpo IG2
Modelos de regulación basados en evidencia	

Fuente: Encuesta prospectiva de la Agenda Biotecnología.

Los investigadores encuestados propusieron proyectos que pueden ser ejecutados dentro de la Agenda Biotecnología; aparecen en la tabla 11.

Tabla 11. Propuestas de proyectos y temas de investigación para la Agenda Biotecnología por parte de los investigadores encuestados

	Proyectos
Investigadores	Genotipificación con chips de alta densidad en diferentes especies animales
	Probióticos y sistema inmune
	Análisis de flujos metabólicos
	Análisis y aportes a la reglamentación para productos fitofarmacéuticos
	Análogos de productos naturales con aplicación farmacológica
	Aplicación de nuevas aproximaciones experimentales para el análisis de enfermedades infecciosas con alto impacto económico del país: Aplicación de la proteómica y transcriptómica para el estudio de las interacciones planta-patógeno
	Aprovechamiento de subproductos agroindustriales con aplicaciones farmacéuticas
	Bioplaguicidas en especial fungicidas, nematocidas de origen vegetal y fúngico
	Bioprospección
	Biosensores de contaminación en ecosistemas acuáticos
	Biotecnología de alimentos, nutraceuticos
	Búsqueda de sustancias bioactivas obtenido de diversos orígenes
	Caracterización y utilización de microorganismos en biorremediación, caracterización y utilización de microorganismos en biofertilización
	Consolidado de una unidad estratégica de negocios dedicada al mejoramiento genético y biotecnología reproductiva animal
	Cultivos de células de organismos marinos para la producción de compuestos bioactivos
	Desarrollo de alimentos funcionales
	Desarrollo de fármacos e ingredientes activos (extractos) para el desarrollo de medicamentos, fitoterapéuticos, cosméticos, suplementos dietarios
	Desarrollo de metodologías analíticas y protocolos de control de calidad de ingredientes naturales y los productos que los contengan
	Desarrollo de nanomateriales en aplicaciones de la biomedicina (nanopartículas, nanotubos).
	Obtención de biocombustibles empleando materias primas provenientes de subproductos agrícolas.
Desarrollo de nuevos sistemas de entrega de fármacos e ingredientes activos.	
Desarrollo de procedimientos para la obtención y aprovechamiento de ingredientes naturales	
Desarrollo de sistemas de producción de frutales de la selva lluviosa del pacífico colombiano.	
Desarrollo de sistemas agroforestales con base en orquídeas (especies de vainilla).	
Desarrollo rural integral-Diferentes zonas del país	
Diagnóstico precoz, mediante metabolitos intermedios en líquido cervical	

Fuente: Encuesta prospectiva de la Agenda Biotecnología.

Los expertos de la Agenda Biotecnología analizaron las respuestas obtenidas de la encuesta prospectiva realizada por directores e investigadores de los grupos de investigación de la agenda, y concluyen que el trabajo realizado a lo largo de todo el proyecto es fruto del esfuerzo y el trabajo hecho por todo el equipo, y que si bien se tienen en cuenta las sugerencias hechas por los encuestados, no se harán modificaciones a los elementos que constituyen la Agenda Biotecnología.

BIBLIOGRAFÍA

Anonymous. (2006). Wood-Plastic composite growth taking off in Europe. While strong WPC growth continues in the USA. *Additives for Polymers*, 5(9), 9-11.

Arroyave, S. M. y Vahos, M. D. (1999). *Evaluación del proceso de compostaje producido en un tanque biorreactor piloto por medio de bioaumentación*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Ashwell, M. (2004). *Conceptos sobre alimentos funcionales*. Washington DC: International Life Science Institute (ILSI). ILSI Press.

Atkinson, S., Marco, A. C., & Turner, J. L. (2009). The Economics of a Centralized Judiciary: Uniformity, Forum Shopping and the Federal Circuit. *Journal of Law and Economics*, 52(3), 411-443.

Bacas. (2004). *Industrial biotechnology and sustainable chemistry*. Brussel: Royal Belgian Academy Council of Applied Science.

Battison, L. (2011). *Microwave waste to get biofuel*. BBC News Science y Environment. Disponible en <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-14933631>

Beilen, J. B. v., & Li, Z. (2002). Enzyme technology: an overview. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 338-344.

Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., & Fito, P. (2011). Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 498-508.

Biocat. (2009). *Informe Biocat sobre el estado de la biotecnología, la biomedicina y las tecnologías médicas en Cataluña Biocat (Fundació Privada BioRegió de Catalunya)*. Disponible en http://dc347.4shared.com/doc/OgjSO_rX/preview.html

Boffetta, P. (1993). Carcinogenicity of trace elements with reference to evaluations made by the International Agency for Research on Cancer. *Scand. J. Work Environ. Health*, 19, 67-70.

Bonilla, E. y 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.

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

Brunelli, J. (2008). Y-specific sequences and polymorphisms in rainbow trout and Chinook salmon. *Genome Biology*, 51(9), 739-748.

Bueno, E. (2002). Indicadores de capital intelectual aplicados a la actividad investigadora y de gestión del conocimiento de las universidades y centros públicos de investigación de la Comunidad de Madrid. En: Modrego, A. *Capital intelectual y producción científica* (pp. 19-70). Madrid: Dirección General de Investigación. Comunidad de Madrid. Disponible en: <http://www.madrid.org/edupubli>

- Carole, T. M., Pellegrino, J., & Paster, M. D. (2004). Opportunities in the industrial biobased products industry. *Appl. Biochem. Biotechnol*, *15*, 113-116, 872-885.
- Carstens, K. (2011). Genetically modified crops and aquatic ecosystems: considerations for environmental risk assessment and non-target organism testing. *Transgenic Research* doi: 10.1007/s11248-011-9569-8.
- Castro, A. M. J., B. D'apice, M. L. & Filho, A. (2002). *Análise Prospectiva de Cadeias Produtivas Agropecuárias*. Working paper. Revista Brasileira de agroinformatica. Brasília.
- Chellappan, S., Jasmin, C., Basheer, S., Kishore, A., Elyas, K., Bhat, S., & Chandrasekaran, M. (2011). Characterization of an extracellular alkaline serine protease from marine Engyodontium album; BTMFS10. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, *38*(6), 743-752. doi: 10.1007/s10295-010-0914-3
- Chisti, Y. (2007). Biofuels from Microalgae. *Biotechnology Advances*, *25*, 294-306.
- Colciencias (2011). *Colciencias*. Disponible en <http://201.234.78.173:8083/ciencia-war/busquedaGrupoXPrograma-Nacional.do>
- Commission, U. S. I. T. (2008). *Industrial Biotechnology: Development and Adoption by the U.S.* Chemical and Biofuel Industries. Washington: United States International Trade Commission. Disponible en www.usitc.gov.
- Devlin, R. H. (2005). Variation of Y-chromosome DNA markers in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *62*(6), 1386-1399.
- Duque, C., Brijaldo, M. y Molina, R. (2001). *Programas estratégicos: un reto institucional para la Universidad Nacional de Colombia en el siglo XXI*. Bogotá: Editores e Impresores LTDA.
- Erickson, B., Nelson, J. E., & Winters, P. (2011). Perspective on opportunities in industrial biotechnology in renewable chemicals. *Biotechnology Journal*, n/a-n/a. doi: 10.1002/biot.201100069
- EU. (2010). *Assessment of the Bio-based Products Market Potential for Innovation: European Commission Enterprise and Industry*. European_Bioplastics. Disponible en <http://www.european-bioplastics.org>
- FAO. (2001). *Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado: efectos del estrés y de las lesiones en la calidad de la carne y de los subproductos*. Oficina Regional para Asia y el Pacífico. Disponible en <http://www.fao.org/DOCREP/>
- FAO. (2004). *The State of World Fisheries and Aquaculture (SOPHIA)*. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/007/y5600e/y5600e00.htm>
- FAO/WHO. (2001). *Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FIRA. (2009). Dirección Nacional Adjunta de Inteligencia Sectorial. *El mercado de los fertilizantes en México: situación actual y perspectivas 2009*. Notas de Análisis.
- Florez, G. (1999). *Un compromiso académico y social con la nación colombiana: Universidad Nacional de Colombia: Plan Global de Desarrollo 1999-2003* (pp. 60). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Francesco, C. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, *51*(7), 1412-1421. doi: 10.1016/j.enconman.2010.01.015
- French, C. (1999). Biodegradation of explosives by transgenic plants expressing pentaerythritol tetranitrate reductase. *Nat. Biotech*, *17*, 491-494.

- Frost & Sullivan. (2009). *The Malaysian Industrial Biotechnology Sector. Kuala Lumpur, Malaysia: Malaysian Biotechnology Corporation* (Biotechcorp). Disponible en <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release.pag?Src=RSS&dclid=178067881>
- García, S. y Mier, T. (2003). Panorama actual de la producción comercial y aplicación de bioplaguicidas en México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 4, 65-81.
- Gracia, M. (2007). La alimentación del futuro: Nuevas tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 20(2), 108-114.
- Gazzoni, D. L. (2009). *Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe. Series Crisis global y seguridad alimentaria*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José: IICA, Sede Central.
- González, F. (2006). *Ensayos médicos sobre genética: La genética molecular en la medicina ecuatoriana*. Quito: Ed. Noción.
- Graff, G., & Zilberman, D. (2001). An Intellectual Property Clearinghouse for Agricultural Biotechnology. *Nature Biotechnology*, 19, 1179-1180.
- Haberl, H., Beringer, T., Bhattacharya, S. C., Erb, K. H., & Hoogwijk, M. (2010). The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints. [doi: 10.1016/j.cosust.2010.10.007]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2 (5-6), 394-403. Disponible en <http://www.observatorynano.eu>
- Heller, M. A., & Eisenberg, R. (1998). Can Patents Deter Innovation? The Anticommons. *Biomedical Research. Science*, 280 No. 5364, 698-701. doi: 10.1126/science.280.5364.698.
- Hernández, M. C. (2008). Propuesta de apoyo para una gestión eficiente de la Biotecnología. *Revista EAN*, 62, 5-26.
- Holland, A. (2006). Development of a defined medium supporting rapid growth for *Deinococcus radiodurans* and analysis of metabolic capacities. *Applied Microbiology Biotechnology*, 72, 1074-1082.
- Hoyos, G. (2005). Ética discursiva. En *Estatuto epistemológico de la bioética*. Publicaciones Unesco. Disponible en: <http://www.observatorynano.eu/>
- Hugenholtz, P. (2002). Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. *Genome Biology*, 3, 3, 0003.0001-0003.0008.
- IDEA. (1991). *La importancia de un viaje en la investigación a partir de la interdisciplina*. Disponible en http://www.idea.unal.edu.co/public/docs/importancia_invest_interdisciplina.pdf
- Inifap. (2009). *Biofertilizantes*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en www.inifap.gob.mx/
- James, C. (2010). *Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/MG en 2010*. ISAAA International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Ithaca, NY: ISAAA.
- King, S. D. (2010). *The future of industrial biorefineries*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- Kircher, M. (2010). *OECD Workshop on the Outlook on Industrial Biotechnology: Trends in Technology and Applications*. Germany: Oecd.
- Kirk, O., Borchert, T. V., & Fuglsang, C. C. (2002). Industrial enzyme applications. [doi: 10.1016/S0958-1669(02)00328-2]. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(4), 345-351.
- Lakshimikuraman, M., & Phillips, P. (2005). Patenting of biotechnological innovations. *Asian Biotechnology and Development Review*, 7(2), 25-44.

- Langeveld, J., Dixon, J., & Jaworski, J. (2010). Development Perspectives of The Biobased Economy: *A Review. Crop Science Society of America, 50*, 142-151.
- Lasat, M. (2002). Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanism. *J. Environ., 31*, 109-120.
- Leyton, F. y Escribar, A. (2005). Fundamentos para una ética medioambiental. *La ética de la responsabilidad y la ética extensionista*. Tesis para optar al título de magister en Filosofía. Universidad de Chile. Disponible en http://www.fabiola.cl/2005/tesis_etica/index.html#toc
- Lolas, F. y Quesada, A. (2003). *Pautas éticas internacionales para investigación en seres humanos*. Serie publicaciones. Programa regional de bioética. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
- Marco, A. C. R., & Gordon, C. (2007). The role of patent rights in mergers : consolidation in plant biotechnology. *Economics Letters, 94*(2), 290-296.
- Markert, B. (1994). Plants as biomonitors-potential advantages and problems. *Sci. & Technol. Lett.*, special issue 1994, 601-613. Northwood, NW.
- Meagher, R. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion In Plant Biology, 3*(2), 53-162.
- Meyer, H. P. (2010). Sustainability and Biotechnology. [doi: 10.1021/op100206p]. *Organic Process Research & Development, 15*(1), 180-188. doi: 10.1021/op100206p
- MoRST. (2005). Ministry of Research, Science & Technology of New Zeland. *FutureWatch: Biotechnologies to 2025*. Disponible en <http://www.community.net.nz/how-toguides/community-research/websites/morst.htm>
- OECD. (2005). *Organisation for Economic Co-operation and Development, A framework for biotechnology statistics*. Disponible en: <http://www.oecd.org/sti/innovationinsciencetechnologyandindustry/34935605.pdf>
- OECD. (2009). *The Bioeconomy to 2030, designing a policy agenda. OECD International Futures Project*. Disponible en <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>
- OMPI. (2008). Organización Mundial de Propiedad Intelectual.
- Ortegón, E. y. M., J. (2006). *Manual de Prospectiva y Decisión Estratégica*. Santiago de Chile: Cepal.
- Plan Global (1999-2003). *Plan Global de Desarrollo 1999-2003. UN compromiso académico y social con la nación colombiana*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Plan Global. (2006). *Plan Global de Desarrollo 2007-2009: Por una Universidad moderna, abierta y participativa*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Plan Global (2009). *Plan Global de Desarrollo 2010-2012*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Portafolio. (2011). *Producción nacional de etanol se triplicará al 2020; el país tiene potencial de crecimiento*. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/produccion-nacional-etanol-se-triplicara-al-2020>
- 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.
- Raskin, I. (1994). Bioconcentration of heavy metals by plant. *Current Op. Biotech, 5*, 285-290.

- Ribaut, J. M. (2001). A method for combining molecular markers and phenotypic attributes for classifying plant genotypes. *Tag Theoretical and Applied Genetics*, 103, 944-952.
- Rives, N. (2009). Antagonistic Activity Against *Pyricularia Grisea*(Sacc.) and Growth Stimulation In Rice of *pseudomonas Putida* (Trev.) Native Strains. *Revista de Protección Vegetal*, 24, 106-116.
- Roca, W., Espinoza, C., & Panta, A. (2004). Agricultural Applications of Biotechnology and the Potential for Biodiversity Valorization in Latin America and the Caribbean. *AgBioForum*, 7(1 & 2), 13-22.
- 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.
- Roland, F. (2005). *¿Bioética sin responsabilidad? Justificación de una bioética latinoamericana y del Caribe de la protección*. Estatuto epistemológico de la bioética: Unesco Publicaciones.
- Sánchez, T. (2008). *Plantas transgénicas, biotecnología y alimentación*. Disponible en <http://taniangelinasanchezrobles.blogspot.com/2011/11/alimentos-transgenicos-y-biotecnologia.html>
- 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.
- Schillberg, S., Fischer, A. R., & Emans, N. (2003). Molecular farming of recombinant antibodies in plants. *Cell Molecular Life Science*.
- Shapiro, C. (2001). Navigating the Patent Thicket: Cross Licenses, Patent Pools, and Standard Setting. *Innovation Policy and the Economy*, 1, 119-150.
- Singh, R. (2011). Facts, Growth, and Opportunities in Industrial Biotechnology. *Organic Process Research & Development*, 15, 175-179.
- Spendeler, L. (2005). Organismos modificados genéticamente: una nueva amenaza para la seguridad alimentaria. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2).
- Strand, S. E., & Benford, G. (2009). Ocean Sequestration of Crop Residue Carbon: Recycling Fossil Fuel Carbon Back to Deep Sediments. *Environmental Science and Technology*, 43, 1000-1007.
- Tang, W. L., & Zhao, H. (2009). Industrial biotechnology: Tools and applications. *Biotechnology Journal*, 4, 1725-1739.
- Thomas, Z. (2006). Agricultural Biotechnology and proprietary rights, challenges and policy options. *The Journal of World Intellectual Property*, 8, 711-734.
- Trigo, E., Traxler, R., Pray, C., & Echeverría, R. (2002). *Biología Agrícola y Desarrollo Rural en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: Informe Técnico SDS.
- UN. (1998). *UN compromiso académico y social con la nación colombiana: Plan global de desarrollo Universidad Nacional de Colombia 1999 – 2003*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Universidad Nacional de Colombia. (1999a). División de Investigación Sede Bogotá. Zalamea, F. Guía para la Consolidación de un Sistema de Excelencia en Investigación. En: *Colombia Espacio Abierto*. ISSN: 1315-0006 ed: Universidad Del Zulia v.n/a fasc.4, pp. 9-12.
- Universidad Nacional de Colombia. (2007). Plan Global de Desarrollo Universidad Nacional de Colombia 2007-2009. Por una Universidad moderna, abierta y participativa. Bogotá.

UN-Energy. (2007). *Sustainable bioenergy: A framework for decision makers. Environmental Sustainability*. Disponible en <http://www.un-energy.org/publications/47-sustainable-bioenergy-a-framework-for-decision-makers>

Universia. (2008). *Spin off*. Disponible en: <http://profesores.universia.es/investigacion/spin-off/>

Upov. (1991). Actas del seminario sobre la naturaleza y la razón de ser de la protección de las obtenciones vegetales en virtud del convenio de la Upov. La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Disponible en <http://www.upov.int/index.html.es>

Vega, J. (2010). *Tendencias Futuras de los Cultivos Biotecnológicos*. FLAGRO. Disponible en http://www.tuinventas.com/index.php?option=com_content&view=article&id=114:tendencias-futuras-de-los-cultivos-biotecnologicos&catid=130:agroindustria&Itemid=298

VRI. (2006). *Doctorados e investigación: tendencias, perspectivas y lineamientos estratégicos en la Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá: Vicerrectoría de Investigación – Oficina Nacional de Planeación. Universidad Nacional de Colombia.

VRI. Molina, R., Sánchez-Torres, J. M., Landínez, L., Rivera, S. y Gómez, A. (2009,a). *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. *Definición de Ejes Temáticos. En Proyecto Agendas de Conocimiento UN (Ed.), Programa Prospectiva UN (p. 13)*. Bogotá: 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).

Walker, G. M. (2011). 125th anniversary review: fuel alcohol: current production and future challenges. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(1), 3-22.

Wasserman, M. (2010). Entre lo pertinente y lo impertinente. En: *El Tiempo*, domingo, 19 de septiembre de 2010.

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 la heterogeneidad y 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 documento de la agenda, por lo cual inicia con el procedimiento para la construcción de la situación de la investigación en varios contextos; en segundo lugar, se precisa el camino seguido para la consolidación de la visión de futuro y, finalmente, el proceso desarrollado para la estructuración del plan de acción a través de los programas y proyectos seleccionados. Por último 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 cual 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, 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 y 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 la investigación

En primera instancia es preciso mencionar que el logro de objetivos propuestos en el Plan de Trabajo del Proyecto Agendas de Conocimiento (VRI, 2009b) 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, 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 denominado 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 abordarán en Bonilla, E. y Lizarazo, P. (2012), relacionado con las herramientas y los métodos generales implementados para la elaboración de las agendas de conocimiento; sin embargo, cabe señalar 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 de la agenda.

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

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 considerar que para el año 2008 los tomadores de decisión relacionados con temas de ciencia, tecnología e innovación de la Universidad sólo

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.viceinvestigacion.unal.edu.co>.

El segundo módulo concierne a la identificación de capacidades temáticas, denominado por VRI (2009) como portafolios temáticos, que corresponden a 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 a través de 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 agenda 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 doce 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, E. 2002). Indicadores de capital intelectual aplicados a la actividad investigadora y de gestión del conocimiento en las universidades y centros públicos de investigación de la Comunidad de Madrid. Capital intelectual y producción científica. Dirección General de Investigación, Consejería de Educación, Comunidad de Madrid, VRI. (2009a). *Capacidades de Investigación en la Universidad Nacional de Colombia 2000-2008. Una aproximación desde el capital intelectual*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación.

Para consolidar el capital estructural del entorno nacional, se revisó la información del 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 otra 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; lo relacionado con los grupos de investigación, a partir de 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 vinculación o estuvieron vinculados, a partir del cruce con la base de datos del Comité de Puntaje, SARA¹³. Los investigadores 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. Para productos patentados se realizaron búsquedas en el ámbito nacional en la base de datos de la SIC, y en el contexto internacional en las bases de datos de las USPTO, Espacenet, OMPI y JOP. Esta información se depuró a partir del cruce con el sistema SARA de la Universidad.

12 Disponible en <http://www.mineducacion.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 tres últimos años ha generado un producto de nuevo conocimiento o ha inscrito formalmente un proyecto de investigación, registrado en SARA, Quipu o Hermes.

La información del capital relacional se analizó con base en los proyectos ejecutados por los investigadores de la UN, sin importar la fuente de financiación, registrados en el sistema de información financiera Quipu de la Universidad Nacional de Colombia.

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 sobre 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 la sede a la cual se encuentran vinculados identificando aquellos que tienen carácter intersede¹⁵. En cuanto a las personas vinculadas a 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 otras 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; comprende los productos académicos, los programas de formación, los centros e institutos de investigación, los laboratorios, el acceso a las bases de datos y 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; igualmente se reseñan las revistas científicas que la Universidad edita.

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 (2009a). *Capacidades de Investigación en la Universidad Nacional de Colombia 2000-2008. Una aproximación desde el capital intelectual*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría de Investigación, representa la interacción entre investigadores de diferentes sedes, lo que refleja un necesario ejercicio de sinergia institucional.

Así, en el caso de las diferentes agendas de conocimiento, el capital estructural se analizó a partir de dos grandes elementos: uno, los productos académicos¹⁶ y de investigación¹⁷ en el área particular, y dos, los proyectos de investigación. Por su parte, los productos académicos han sido categorizados según: i) 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 clasifican en ocho categorías, que corresponden a la elaboración de capítulos de libros, impresos universitarios, artículos de revistas, libros de investigación, libros de texto, libros de ensayo, producción audiovisual y patentes.

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

-
- 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.
- 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.

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., Echevarría, J. y 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 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 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 incorporar todos los insumos construidos y validados en la etapa anterior para hacer esta visión lo más integral 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 en validación de documentos construidos 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 Regnier, 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 a partir de las diversas revisiones y modificaciones de los documentos que incorporaron las diversas 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 Biotecnología

Con el objeto de evidenciar el acumulado de reuniones adelantadas con los expertos vinculados a la Agenda Biotecnología 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.

Anexo 2. Macrotendencias de la Agenda Biotecnología

1. Biotecnología roja

De todas las posibles aplicaciones de la biotecnología, la roja es una de las que más causa impacto en la manera de vivir de los seres humanos. La biotecnología roja comprende distintos ámbitos de actuación como el terapéutico, diagnóstico, salud animal e investigación biomédica, y también se puede incluir en esta categoría la biotecnología aplicada al desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos (Hugenholtz, 2002).

Los medicamentos de origen biotecnológico aparecieron con los antibióticos en 1928, y la insulina recombinante en 1983, y ahora representan más de 100 moléculas diferentes indicadas para tratar más de 200 enfermedades como la artritis, el cáncer, la fibrosis quística, entre otras. Después de la insulina han venido la hormona del crecimiento, el factor IX de coagulación, la eritropoyetina, EPO, el interferón y los medicamentos del siglo XXI como los anticuerpos monoclonales, la proteína de fusión Fc p75 del receptor factor de necrosis tumoral humano y las vacunas contra el cáncer de cérvix. Además de todo este nuevo arsenal de medicamentos, se deben incorporar los avances del sector diagnóstico, donde los anticuerpos monoclonales, la PCR y el desarrollo de la secuenciación del ADN acercan cada vez más a la humanidad a la medicina personalizada.

La biotecnología puede dar respuesta a las necesidades que plantea el bienestar futuro de la humanidad, que está ligado a la capacidad del planeta para seguir proporcionando aire puro y agua potable, suelos productivos, herramientas para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades prevalentes y energía para las actividades humanas (Biocat, 2009). En estos aspectos la biotecnología ya ha empezado a dar respuesta. Según el informe de Price Waterhouse Coopers sobre la inversión en Estados Unidos durante el tercer trimestre de 2009, la biotecnología (con el 18,82% de las inversiones) y las tecnologías médicas (con el 12,82%) ocupaban el primer y el cuarto puesto, respectivamente, de los sectores elegidos por el capital riesgo en esta época de poscrisis. Entre las dos se sitúan los sectores de la energía y de las tecnologías de la información. La aportación de la biotecnología es clave para el desarrollo de la industria y para el progreso. La Europa que se plantea ser competitiva ante Estados Unidos, con suficiente masa crítica para competir en el campo de la economía del conocimiento, ha decidido apostar por las ciencias de la vida como motor de la nueva economía.

Un importante problema recientemente comentado en los medios de comunicación nacionales es el elevadísimo costo de los medicamentos biotecnológicos. Además de los instrumentos propios de políticas públicas, como la regulación de precios, una salida es la investigación adaptativa para desarrollar biosimilares, que pueden ser producidos localmente, previo análisis de propiedad intelectual.

La biotecnología roja comprende las aplicaciones terapéuticas, diagnósticas, de salud animal y de investigación biomédica de la biotecnología. Las siguientes se consideran las principales áreas de aplicación:

Diagnóstico molecular y biosensores: se basa en la detección de marcadores moleculares, sensibles y específicos, presentes en los seres vivos como indicadores de alguna característica del estado fisiológico del cuerpo (patologías y enfermedades, estados de estrés celular, entre otros), que permiten un diagnóstico precoz, comprobación del estado de la enfermedad e incluso la elección del mejor tratamiento. Entre los marcadores presentes se encuentran marcadores genéticos (variedades genéticas que predisponen a ciertas enfermedades, como el cáncer), proteínicos (enzimas que silencian genes o están defectuosos...) o moleculares (productos secundarios del metabolismo, etc.). Utiliza, entre otras, la tecnología de microarreglos, tanto de genes como de proteínas, técnicas inmunohistoquímicas y tecnología del DNA recombinante. Hace parte de esta área la llamada "medicina personalizada", donde se administra el fármaco adecuado, con la concentración y lugar precisos, gracias al estudio genético, proteínico e histológico del paciente.

- a. Terapia génica: se basa en la modificación del material genético de las células (solo en la línea somática y no la germinal, totalmente prohibida en la legislación), para aumentar, sustituir, disminuir o silenciar la expresión de ciertos genes y sus respectivas proteínas resultantes, con el fin de curar alguna enfermedad o característica fisiológica no deseada.
- b. Nuevas dianas terapéuticas, nuevos fármacos y nuevas vacunas: de la mano de otras áreas de la biotecnología se han podido descubrir nuevos fármacos (a partir de genotecas del mundo marino, microbiano, de plantas o animales) que tienen capacidad terapéutica en dianas de enfermedades ya conocidas o nuevas (receptores de membrana, enzimas o los propios genes). De la misma forma, se están descubriendo nuevas vacunas más eficaces para todo tipo de enfermedades, como las llamadas vacunas recombinantes, que utilizan solo las partes que confieren inmunidad al cuerpo sin tener que utilizar el patógeno en su totalidad.
- c. Nuevos sistemas de administración de fármacos y vacunas: gracias a la implantación de la nanotecnología y al avance de la química, se dispone de nuevas y prometedoras formas de administrar fármacos y vacunas. Por ejemplo,

la administración controlada de fármacos, que sólo se liberan ante unas circunstancias muy determinadas, a la concentración adecuada y únicamente en la zona afectada.

- d. Farmacogenética: medicina personalizada. Consiste en el estudio de la distribución y evolución de la variabilidad genética entre los individuos de una o varias poblaciones, lo que hace que respondan, junto con las variables ambientales, de forma diferente a las enfermedades y a las distintas terapias. De esta manera se puede obtener valiosa información sobre las distintas variables genéticas y su relación con las enfermedades y con la respuesta a sus distintas terapias (para así conseguir una “medicina personalizada”).
- e. Alimentos funcionales y nutraceuticos: son aquellos alimentos que producen un efecto benéfico comprobado en la salud. La definición oficial más ampliamente aceptada es la del International Life Sciences Institute, ILSI: “Un alimento funcional es aquel que contiene un componente, nutriente o no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto añadido por encima de su valor nutricional y que sus efectos positivos justifican que puedan reivindicarse sus características funcionales o incluso saludables”. La nutraceutica es un término relativamente nuevo que se utiliza para definir todos aquellos compuestos o sustancias naturales que tienen acción terapéutica. Es decir, se trata de una fusión de la palabra nutrición con terapéutica.

1.1 Macrotendencias

1.1.1 Diagnóstico molecular y biosensores

Nanobiotecnología: la nanobiotecnología, convergencia entre la nanotecnología y la biotecnología, es la rama de la nanotecnología que planea una gran proyección en el futuro debido a sus importantes aplicaciones, especialmente diagnósticas y terapéuticas. La detección temprana de enfermedades (como el cáncer), su tratamiento precoz a nivel personalizado y el posterior seguimiento de su evolución serán posibles en los próximos años gracias a la aplicación de las herramientas nanobiotecnológicas que actualmente se desarrollan.

Nanosistemas de diagnóstico: el objetivo del nanodiagnóstico es identificar la aparición de una enfermedad en sus primeros estadios a nivel celular o molecular e idealmente al nivel de una sola célula, mediante la utilización de nanopartículas o nanodispositivos (nanobiosensores, biochips de ADN, laboratorios-en-un-chip, nanopinzas, nanosondas, etc.). De esta forma se puede obtener una capacidad de respuesta más rápida para tratar las enfermedades y reparar o recrear tejidos y órganos humanos.

1.1.2 Ingeniería celular y de tejidos

Nanomedicina regenerativa: la nanomedicina regenerativa es un área emergente que persigue la reparación o remplazo de tejidos y órganos mediante la aplicación de métodos procedentes de terapia génica, terapia celular, dosificación de sustancias biorregenerativas e ingeniería tisular. La terapia génica se basa en utilizar células genéticamente modificadas; la celular, en usar células madre, y la liberación controlada de sustancias activas, citoquinas y factores de crecimiento propicia la reconstrucción tisular.

La ingeniería tisular: intenta generar tejidos *in vivo* o *in vitro* para lo cual necesita materiales biocompatibles que mimeticen respuestas celulares específicas a nivel molecular. Gracias al desarrollo de las nanotecnologías, los materiales tienen el potencial de interactuar con componentes celulares, dirigir la proliferación y diferenciación celular y la producción y organización de la matriz extracelular. Entre los materiales que se utilizan cabe destacar los nanotubos de carbono, nanopartículas como nanohidroxiapatita o nanozirconia, nanofibras de polímeros biodegradables, nanocompositos, etc.). También se pueden utilizar superficies con nanoestructuración nanométrica que actúen como incubadoras de líneas celulares y que favorezcan el proceso de diferenciación celular. Los nuevos materiales así obtenidos pueden mejorar la adhesión, la duración y el tiempo de vida.

1.1.3 Proteínas recombinantes y anticuerpos monoclonales

Proteínas recombinantes: proteínas producidas por organismos que originalmente no son fabricadas por el organismo huésped seleccionado. Los anticuerpos monoclonales son glicoproteínas especializadas que hacen parte del sistema inmune, producidas por las células B, con la capacidad de reconocer moléculas específicas (antígenos).

Los anticuerpos monoclonales: son herramientas esenciales en el ámbito clínico y biotecnológico, y han probado ser útiles en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas, inmunológicas y neoplásicas, así como también en el estudio de las interacciones patógeno-hospedero, la marcación, detección y cuantificación de diversas moléculas.

1.1.4 Terapia génica

En un sentido estricto, por terapia génica humana se entiende la “administración deliberada de material genético en un paciente humano con la intención de corregir un defecto genético específico. Otra definición más amplia considera la terapia génica como una técnica terapéutica mediante la cual se inserta un gen funcional en las células de un paciente humano para corregir un defecto genético o para dotar a las células de una nueva función” (González, 2006).

1.1.5 Nuevos sistemas de administración de fármacos y vacunas

Liberación controlada de fármacos: los fármacos necesitan ser protegidos durante su tránsito por el cuerpo hasta llegar al lugar afectado, tanto para mantener sus propiedades físico-químicas como para proteger a las otras partes del cuerpo por las que viaja de sus efectos adversos. Una vez que el fármaco llega a su destino, necesita liberarse a una velocidad apropiada para que sea efectivo. Este proceso no siempre es óptimo con las medicinas actuales, por lo que la nanomedicina está ofreciendo métodos para mejorar tanto las características de difusión del fármaco como las de degradación del material encapsulante, permitiendo que el fármaco se transporte de forma mucho más eficaz y que su liberación sea igualmente más controlada. Con las nuevas tecnologías se podría suministrar dosis más bajas al paciente para conseguir los mismos efectos, al mejorarse la termoestabilidad, el tiempo de vida y la protección de estos medicamentos frente a los tradicionales. La formulación de fármacos en forma nanoestructurada aumenta su solubilidad y eficacia, por lo que ya existen en el mercado más de cien fármacos de este tipo y muchos otros están en desarrollo. Además, este tipo de formulación permite utilizar rutas de administración más efectivas (oral, trascutánea y pulmonar) y alcanzar localizaciones en el cuerpo que tradicionalmente han sido difíciles, como el cerebro.

1.1.6 Farmacogenética

La farmacogenética es la ciencia que permite identificar las bases genéticas de las diferencias interindividuales en la respuesta a fármacos.

1.1.7 Alimentos funcionales y nutracéuticos

Alimentos funcionales son aquellos alimentos que son elaborados no solo por sus características nutricionales sino también para cumplir una función específica, como puede ser el mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades.

1.2 Biotecnología blanca (biotecnología industrial)

La biotecnología blanca o biotecnología industrial, BI, es la aplicación de la biotecnología moderna para la producción industrial de productos químicos, materiales y bioenergía, principalmente a partir de fuentes renovables, utilizando para ello biocatálisis, es decir, células vivas o enzimas, desarrollando procesos de pocas o nulas emisiones de gases invernadero y mínimos residuos (BACAS, 2004).

Otra definición que amplía este concepto es la aportada por la United States International Trade Commission, la cual afirma que la biotecnología blanca es la manufactura de combustibles líquidos y productos químicos usando enzimas, microorganismos, fermentación o biocatálisis en cualquier etapa de producción, sin tener en cuenta el tipo de materia prima usada (es decir, biomasa o sustancias inorgánicas) o la manufactura de combustibles líquidos y productos químicos a partir de recursos renovables sin tener en cuenta el tipo de tecnología de procesamiento usado (Commission, 2008).

Recientemente la biotecnología blanca se ha enmarcado dentro de los conceptos de biorrefinación y biorrefinerías. El primero se entiende como el procesamiento sostenible de la biomasa para producir un amplio espectro de productos comerciales y energía. El segundo comprende unidades o redes de unidades de transformación que utilizan un conjunto de tecnologías que permiten extraer, desde varias fuentes de biomasa (materiales de cosecha ricos en azúcares, almidón o aceites madera, biomasa marina y sus residuos de explotación, transformación o consumo) moléculas o sustancias consideradas plataformas (carbohidratos, proteínas, grasas, hidrógeno, lignina, biogás, líquidos pirolíticos) que pueden ser transformados en productos de valor agregado, generando unos residuos de bajo valor y alto volumen que normalmente pueden usarse para alimentación animal y fertilizantes. En una biorrefinería no solamente se usan las tecnologías asociadas a la biotecnología moderna y la biocatálisis, sino que además tienen aplicación otros procesos –convencionales o avanzados– de tipos mecánico, termoquímico, químico y bioquímico (Francesco, 2010).

En los países líderes en el aprovechamiento integral de su biomasa hay un número creciente de biorrefinerías, siendo las más conocidas las que producen biocombustibles a partir de maíz, caña de azúcar y oleaginosas. Colombia no ha sido ajena a esta tendencia, y hoy tiene en funcionamiento algunas instalaciones de este tipo, en su esquema elemental, para producir bioetanol y biodiesel.

El ritmo de innovación asociado a la biotecnología blanca hace que las previsiones de organizaciones, gobiernos y empresarios sean inciertas y deban tomarse solo como indicativas. Dentro de esas limitaciones, y a partir de información de varias fuentes, a continuación se resumen algunos estimados de los valores de mercado mundial de los productos que se generan usando la biotecnología blanca.

Las ventas totales de los materiales que se obtienen de la biomasa como principal materia prima (frecuentemente llamados bioproductos), utilizando casi siempre biocatalizadores en alguna etapa del proceso de transformación, constituyeron aproximadamente el 10% de la industria química en 2010 y pasaron de 120.000 a 160.000 millones de dólares entre 2008 y 2011. Mientras en el Foro Económico Mundial se espera que esta cifra se sitúe por encima de 230.000 millones en 2020 (King, 2010), otras firmas consultoras la estiman en 260.000 millones de dólares en el año 2016. En la Unión Europea el valor del mercado de los bioproductos se prevé que crezca desde 21.000 hasta 40.000 millones de euros entre 2008 y 2020 (EU, 2010). Las estimaciones pueden variar según la fuente, pero hay un denominador común en todas ellas: la proporción de los productos manufacturados utilizando la biotecnología va a crecer de una manera abrumadora.

Los productos de la biotecnología blanca en el esquema de biorrefinerías se pueden clasificar en:

1. Biomoléculas de interés industrial o farmacéutico.
2. Bioenergía.
3. Producción de microorganismos y enzimas.
4. Derivados del aprovechamiento de residuos.
5. Biocompositos.
6. Moléculas funcionales, probióticos y otros ingredientes alimenticios.

1.2.1 Biomoléculas de interés industrial o farmacéutico

Los materiales producidos por biotecnología abarcan una amplia gama de biomateriales, entre los cuales se encuentran los bioplásticos, químicos, farmacéuticos, productos especializados, aceites industriales (biolubricantes), biosolventes y fibras (Langeveld, Dixon, y Jaworski, 2010; Singh, 2010).

Los bioplásticos son plásticos que se producen con materias primas total o parcialmente renovables. Hay tres grandes grupos: los de origen total o parcialmente biomásico, no biodegradables como el polietileno, tereftalato de polietileno y polipropileno; los que se producen a partir de materiales renovables y son biodegradables como la celulosa y los polihidroxialcanoatos; y los que son de origen petroquímico pero son biodegradables como el poli (butilen-adipato-co-tereftalato) o PBAT.

Empresas como Metabolix, Dow Chemicals, Novamont, Cereplast, Teijin, Natureworks, Hisun, Tianan, Plantic, Innovia, Procter & Gamble, Kaneka and Arkema son las mayores productoras de biopolímeros. Otros materiales como fibras con propiedades inusuales son sintetizados a partir de arañas, moluscos, insectos y otros recursos. El ácido hialurónico y el colágeno son ejemplos de biopolímeros de fuente animal y tienen gran aplicación farmacéutica e industrial (Meyer, 2010; Singh, 2010).

La producción de bioplásticos se investiga desde cuatro aspectos:

- a. A partir polímeros naturales como poliéster, polisacáridos, proteínas y poliisoprenoides.
- b. Desde cultivos genéticamente modificados.
- c. Desde monómeros producidos por fermentación que son polimerizados enzimática y químicamente.
- d. Biopolímeros directamente cultivados después de una fermentación microbiana.

Tabla 12. Ejemplo de biomateriales y sus aplicaciones

Biopolímero	Aplicación
Arañas, insectos y otras fuentes	Dispositivos médicos, tejidos artificiales, materiales de alto desempeño, etc.
PLA, PHA, almidón, polímeros de celulosa	Plásticos biodegradables, dispositivos médicos y vendaje para heridas, aplicaciones en industrias de alimentos, etc.
Colágeno, gelatina	Alimentos, tejidos artificiales y huesos, drogas.
Ácido hialurónico	Osteoartritis, quimioportadoras, cosméticos
Xantano	Alimentos, recuperación de aceite enriquecido.

Fuente: Singh (2010).

La producción global de bioplásticos fue de 0,36 millones de toneladas en 2007 (0,3% de la producción global de plásticos). European Bioplastics en 2009 estimó esta cantidad en un rango entre 0,7 – 1,5 millones de toneladas (3,5% del mercado mundial). Varias fuentes estiman que esta cantidad se elevará de 2,3 millones en 2013 a 3,45 millones de toneladas en 2020 (Carole *et al.*, 2004; European_Bioplastics; Kircher, 2010; Meyer, 2010; Singh, 2010).

Además de los bioplásticos, la lista de moléculas o químicos producidos por biotecnología es considerable: el 1,3 propanodiol (1,3 – PD), compuesto base para la fabricación de biopolímeros, ropa, alfombras, resinas, compositos de biofibras;

el 1,3-PD es hecho de jarabe de maíz por la bacteria modificada *Escherichia coli*, y residuos como glicerol a través de *Klebsiella pneumoniae* entre otros microorganismos. Se espera que para el año 2020 el mercado mundial proyecte una producción de alrededor de 230.000 ton, en compañías como DuPont (Carole *et al.*, 2004; Kircher, 2010).

Están en el mercado algunas moléculas importantes como las derivadas de azúcares tales como el ácido succínico, el 1,4- butanodiol, el isobutanol y el ácido acético. El ácido succínico se produce en forma competitiva, respecto al que tradicionalmente se ha obtenido por la vía petroquímica, por empresas como Myrioint y Bioambarlo que lo producen bioquímicamente a partir de glucosa. El butanol que se aplica en poliésteres, poliuretanos y otros copolímeros se está comercializando por Genomática usando diferentes tipos de biomasa (azúcares o celulosa). Un subproducto químico que compite exitosamente con el de origen petroquímico es el ácido acético, del cual hay un importante productor en Colombia (Sucromiles). Otras firmas y químicos que están en proceso de producción industrial mediante el uso de plataformas llamadas de fermentación e ingeniería metabólica son Allylix (terpenos), Segetis (ácido levulínico), OPX Bio (ácido hialurónico) y Vendezyme (ácido adípico).

1.2.2 Bioenergía

La biomasa que se produce por el crecimiento de las plantas se estima en 2200 EJ²¹/año (1 EJ = 109 GJ = 10¹⁸ J), de la cual 1240 EJ/año está por encima del nivel del suelo. Por la actividad humana se cosechan o destruyen alrededor de 370 EJ/año. Aunque hay discrepancias en cuanto a la fracción que se usa para producir energía (bioenergía), la mayoría de los investigadores sitúan esta cifra en el rango entre 40 – 60 EJ/año, considerando criterios de sostenibilidad (Haberl *et al.*, 2010).

La bioenergía se define como cualquier fuente de energía que se derive de la biomasa (bioetanol, biobutanol, biodiesel, hidrógeno, etc.), que se utiliza para la producción de calor, electricidad o para el sector de transporte (UN-Energy, 2007).

El bioetanol es el biocombustible que se produce actualmente en mayor abundancia y es el material que se obtiene en mayor volumen mediante la biotecnología blanca. Su producción excederá muy pronto los 100x10⁹ L. Brasil y Estados Unidos son los líderes mundiales con el 80% de la producción actual. Se estima que su producción crecerá hasta 125 x 10⁹ L hacia 2017 (Walker, 2011). En 2011 Colombia tiene una capacidad instalada para la producción de 0,46 x 10⁹ L anuales (Portafolio, 2011).

Se denomina biodiesel a los mono-alkil ésteres de ácidos grasos de cadena larga derivados de fuentes renovables como aceites de origen vegetal o grasas de origen animal. El consumo mundial de biodiesel pudo superar los 22 millones de toneladas en 2011, estimándose que de ellos aproximadamente la mitad corresponde a la Unión Europea y 1,2 millones de toneladas a Latinoamérica (Frost y Sullivan, 2009). En Colombia se producen actualmente alrededor de 0,52 millones de ton/año (Portafolio, 2011).

1.2.3 Tecnología de enzimas

Teniendo en cuenta que los materiales producidos por la biotecnología blanca requieren microbios y enzimas para su procesamiento, la obtención de estos biocatalizadores es una actividad que demanda intensa investigación y se le considera una tipología importante de productos de la biotecnología blanca. Los mercados de microorganismos o microbios y enzimas se acercan a 4.900 millones y 3.500 millones en 2011, respectivamente (Erickson *et al.*, 2011; Tang y Zhao, 2009). El crecimiento del mercado global de enzimas para uso industrial ha sido notable. En 1995 las ventas de enzimas fueron de US\$1.000 millones, en 2008 de US\$2.900 millones, en 2010 de US\$3.300 millones, y se estima que para 2015 estén en US\$4.400 millones (Beilen y Li, 2002; Chellappan *et al.*, 2011; Erickson *et al.*, 2011).

Las enzimas se usan en tres grandes sectores industriales: alimentos, piensos y procesos de transformación. En estos últimos los segmentos más importantes son el de producción de detergentes y el de pulpa y papel, que forman alrededor de la mitad del valor del mercado mundial, siendo las proteasas alcalinas las enzimas más vendidas (Chellappan *et al.*, 2011).

Tabla 13. Usos y aplicaciones de ciertas enzimas de potencial industrial

Clase de enzima	Aplicación
Transglutaminasa	Desdoblamiento de pieles
Furanonas	Prevención de ensuciamiento o biofilm
Fosfatasa	Descontaminación pesticida

Fuente: Meyer (2011).

En la tabla 14 se pueden analizar también algunas de las aplicaciones de enzimas que tienen gran potencial en la industria biotecnológica. En ella es evidente que el uso de enzimas como furanonas para reducir el ensuciamiento de equipos industriales

e implantes médicos por el depósito de películas de microorganismos tiene una gran acogida debido a que en Estados Unidos este problema asciende a alrededor de US\$3 billones. En el área de la salud personal y dental, se enfocan las enzimas mutanasas o enzimas hidrolíticas que previenen la caída de los dientes por problemas de higiene. En la industria de los alimentos, su uso es muy diverso. La producción de glucosa desde almidón (enzimas hidrolíticas), la producción de jarabe de fructosa (isomerasa) y vitamina C (oxidorreductasa), la conversión de lactosa a galactosa y glucosa (hidrolasa) y la producción de queso (proteasa) son algunas de las muchas aplicaciones de las enzimas (Erickson *et al.*, 2011; Kirk, Borchert y Fuglsang, 2002).

1.2.4 Derivados del aprovechamiento de residuos

Los residuos biomásicos pueden clasificarse en los tres grupos descritos a continuación.

Primarios o disponibles en una explotación agropecuaria: Strand y Benford estiman en $4,98 \times 10^{15}$ g la cantidad de residuos anuales que producen las principales cosechas mundiales (Strand, 2009). Para el caso colombiano son abundantes la cascarilla de arroz, el bagazo de caña, la zoca del café, las hojas y seudotallos de plátano y banano, entre otros.

Secundarios o procedentes de un proceso de transformación agroindustrial: algunos ejemplos son las cáscaras de naranja de las que solo en Brasil se tienen alrededor de 8 millones de toneladas/año como residuos de la industria de jugo de esa fruta (Battison, 2011), los residuos de la extracción de los aceites de palma y palmiste y el glicerol que se produce en cantidades crecientes en las plantas de biodiesel.

Terciarios: los que resultan después de uso o consumo de productos. Un caso interesante para Colombia lo aportan los residuos de borra de café en las fábricas de café soluble europeas: 3 millones de toneladas (Battison, 2011).

Los residuos primarios y secundarios son de gran importancia dentro de la biomasa disponible para uso en biorrefinerías pues no compiten con otros usos y generalmente están disponibles en las unidades de producción agropecuaria o agroindustrial.

Un aprovechamiento biotecnológico simple de los residuos agrícolas lo constituyen los compostajes. El compostaje es un proceso natural y biooxidativo en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, dando al final como producto de los procesos de degradación una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos (Arroyave y Vahos, 1999).

Recientemente se han publicado numerosos trabajos que usan la fermentación en fase sólida, FFS, para la transformación de residuos. Mediante la FFS se han obtenido utilizando muy variados sustratos (residuos) productos como etanol, metano, ácido láctico, hongos, aromas, sabores, enzimas e ingredientes alimenticios.

1.2.5 Biocompositos

Compositos son todos los materiales que contienen dos o más fases de constituyentes distintos sobre una escala más grande que la atómica. El término biocomposito se refiere a todo material formado por una matriz (resina) y un reforzamiento de fibras naturales (usualmente derivadas de plantas o celulosa) con aplicaciones en las industrias médicas y de construcción.

Las fibras vegetales (incluidas las fibras de madera) representan una solución de remplazo para fibras de vidrio y de carbono para el refuerzo de materiales con matrices termoplásticas. Las ventajas de las fibras vegetales es que son económicas y ecológicamente importantes porque:

- Son baratas y poco abrasivas para las herramientas de transformación.
- Su densidad es baja y se aclara todo el material compuesto.
- Tienen un impacto ambiental limitado.

En el 75% de los casos, las fibras de madera son el relleno preferido para matrices termoplásticas. El composito resultante es conocido internacionalmente como WPC (*Wood Plastic Composite*), que significa composito de madera y plástico. Estos materiales se han producido industrialmente desde 1980 y cuentan con un mercado que ha ido aumentando en los últimos 10 años, especialmente en Estados Unidos, llegando a 700.000 toneladas métricas, con una tasa de aumento del 11% anual. En Europa, el mercado de WPC se considera que está surgiendo. En las mejores estimaciones, solo alcanzó 100.000 toneladas métricas en 2005. En Estados Unidos, más del 50% de la WPC se utiliza para parquets y cubiertas hechas con polietileno. En Europa, el sector preponderante son las partes de automóviles basadas en compositos de polipropileno (Anonymous, 2006).

Cuando se combinan polímeros naturales (por ejemplo, azúcares o proteínas) con partículas nano-arcillosas u otros biomateriales, se pueden fabricar materiales no tóxicos, biodegradables y biocompatibles conocidos como bio-nanocompositos, que pueden tener propiedades de barrera superiores al polímero o biopolímero de origen. Los nano-compositos son el segmento de crecimiento más rápido dentro del mercado de compositos poliméricos que se estimó en 40.000 millones de dólares en 2010. En ese mismo año el valor de las ventas de bio-nanocompositos fue de 746 millones (<http://www.observatorynano.eu/>).

1.2.6 Moléculas funcionales, probióticos y otros ingredientes alimenticios

Los alimentos funcionales son alimentos en los que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional. Dicho efecto puede ser contribuir a la mantención de la salud y bienestar, a la disminución del riesgo de enfermar o a ambas cosas (Ashwell, 2004). La FAO define probiótico como aquellos microorganismos vivos que, cuando se suministran en cantidades adecuadas, confieren beneficios en la salud a quien los consume (FAO/WHO, 2001).

Se pueden clasificar en tres grupos las tecnologías que se han usado para producir alimentos que contengan moléculas funcionales. Un primer grupo integra algunas de las tecnologías de procesamiento de alimentos, producción animal y vegetal. El segundo es un conjunto de técnicas para formar una estructura tal en el alimento que prevenga el deterioro de las biomoléculas de interés (microencapsulación, películas comestibles e impregnación mediante vacío). El grupo final incluye aproximaciones genómicas que buscan el desarrollo de guías nutricionales para una alimentación personalizada basada en genotipos (Betoret *et al.*, 2011).

1.3 Biotecnología verde (biotecnología agrícola)

La biotecnología verde es simplemente la biotecnología aplicada a los procesos agrícolas, como una alternativa a las aproximaciones convencionales o tradicionales. Un informe del BID (Trigo *et al.*, 2002) define la biotecnología agrícola como “aquellas aplicaciones para la agricultura que están basadas en los conocimientos que se van adquiriendo sobre el código genético de la vida. El amplio espectro de descubrimientos e innovaciones tecnológicas se pueden clasificar en tres grupos: 1) herramientas moleculares para el mejoramiento genético, incluyendo técnicas específicas tales como la selección asistida por marcadores moleculares, 2) los descubrimientos del ADN recombinante que conducen a la creación de organismos modificados genéticamente, OMG, por ejemplo, plantas y cultivos transgénicos, y 3) las técnicas de diagnóstico”. Se debe considerar además la novísima área de la biología sintética, que se define como la síntesis de moléculas biológicas o como ingeniería de sistemas biológicos que expresan funciones nuevas y que no se encuentran en la naturaleza. Mediante estas aproximaciones se busca la creación de nuevos organismos y que estos sean programables. En biotecnología verde, la aplicación más clara de la biología sintética está en la producción de nuevas moléculas usando microorganismos, moléculas que pueden tener uso farmacéutico, alimenticio o industrial.

En este trabajo, el término organismo se refiere a plantas, animales, microorganismos y virus, con los diferentes usos que se indican. Para mantener la coherencia con la definición de biotecnología en general adoptada por los expertos, y con la definición de biotecnología verde en particular que aquí se cita, se entiende que estos organismos son el resultado de tres tecnologías o de una combinación de ellas. Las tecnologías son: la modificación genética vía transgénesis, la selección asistida por marcadores y la programación medida por la biología sintética. Un ejemplo de combinación entre tecnologías es el *Smart Breeding* en el que se combina transgénesis y selección asistida por marcadores. El telón de fondo de todas estas tecnologías, además del uso de técnicas moleculares y celulares cada vez más sofisticadas, son la bioinformática, la biología computacional y las varias aplicaciones derivadas de la genómica (transcriptómica, metabolómica, fenómica, metagenómica).

Estos organismos seleccionados, modificados o programados mediante la biotecnología moderna, son utilizados esencialmente de manera convencional: como alimento, como fármacos, o para diferentes industrias (cosmetología, coadyuvantes alimenticios, electrónica, etc.). Se busca entonces generar organismos que sean resistentes a condiciones ambientales (plagas, enfermedades, sequía, salinidad, acidez, altas o bajas temperaturas, etc.), que mejoren su calidad nutricional o la producción de la proteína de uso farmacéutico o industrial, o que produzcan una nueva molécula (metabolitos primarios o secundarios). Incluso el uso de organismos completos como fertilizantes o como pesticidas es una aplicación convencional. Sin embargo, aparecen nuevos usos en términos de la producción de biocombustibles, o de organismos empleados en biorremediación.

Desde luego, se consideran también los usos de organismos que se han seleccionado del entorno natural, sin modificación, en aplicaciones típicamente biotecnológicas, como biofertilizantes o en procesos de fermentación para la nuevos productos, entre otras.

1.3.1 Organismos resistentes a estrés abiótico y biótico

Son diferentes los blancos que se persiguen con la aplicación de la biotecnología moderna al mejoramiento de organismos que expresen tolerancia al estrés causado por factores bióticos o factores abióticos. Tolerancia a plagas y enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales (temperatura, sequía, acidez, salinidad, etc.), que buscan mejorar la producción sin afectar la biodiversidad y mitigar los efectos del cambio climático.

Los cultivos transgénicos o genéticamente modificados, GM, son los productos de la biotecnología verde más ampliamente utilizados en la producción agrícola. Se han liberado comercialmente cultivos GM tolerantes a herbicidas, resistentes a plagas de

insectos lepidópteros, y resistentes a virus (Carstens, 2011). En relación con el estrés abiótico no se han registrado liberaciones comerciales, pero se anuncian para el año 2012 cultivos GM tolerantes a sequía (Carstens, 2011). En investigación se conocen trabajos de empresas multinacionales y centros de investigación para producir plantas tolerantes a altas o bajas temperaturas, tolerantes a diferentes tipos de acidez, tolerantes a salinidad, o con mejor manejo del nitrógeno, entre otros temas.

Los cultivos transgénicos han tenido una gran evolución desde la primera vez que se cultivaron en 1996, cumpliendo en el año 2010 quince años de comercialización. En comparación con el informe del International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA, del año 2009 a 2010 se presentó un aumento de 14 millones de hectáreas cultivadas en el mundo. Para 2010 se consolidaron 29 países biotecnológicos, de los cuales la gran mayoría están en vías de desarrollo superando a los industrializados; para 2015 se espera que estén consolidados alrededor del mundo 40 países, y que se supere el porcentaje actual de 10% sobre las hectáreas totales de cultivo en el mundo (James, 2010).

Por lo anteriormente expuesto, se busca en la actualidad optimizar las características agronómicas para tolerancia a herbicidas y la resistencia a lepidópteros, y, de forma indirecta, el potencial de rendimiento. En esta área, I&D tiene como objetivos: introducir características de tolerancia a herbicidas en una mayor cantidad de variedades de maíz, soja y canola; ampliar el rango de herbicidas que pueden usarse en combinación con el cultivo transgénico resistente a herbicidas, como la introducción de tolerancia a los herbicidas bromoxinil, oxinil y sulfonilúrea, y acumular genes nuevos para resistencia a insectos en plantas, como las variedades de *Bacillus thuringiensis* (Bt) nuevas que contienen diferentes toxinas. Para los agentes patógenos “en diferentes partes del mundo se están llevando a cabo pruebas de campo de los siguientes cultivos resistentes a virus: batata (virus del moteado plumoso), maíz (virus del rayado del maíz) y mandioca africana (virus del mosaico). Debido a su genoma complejo, no se han logrado grandes progresos en los trabajos con el trigo resistente al virus del enanismo amarillo de la cebada, y todavía se están realizando investigaciones de laboratorio. También se ha logrado resistencia a los nematodos (gusanos de la raíz) en una papa GM” (Vega, 2010). Paralelo a ello se debe concentrar el trabajo para aumentar no solo la eficiencia y productividad de la producción de los cultivos, sino el mantenimiento de la biodiversidad de sí mismo y su entorno (Roca *et al.*, 2004).

La agricultura consume actualmente el 70% del agua dulce del mundo, y es evidente que esto no se podrá sostener en el futuro cuando la población aumente casi un 50% hasta alcanzar los 9.200 millones de habitantes en 2050. Está previsto que los primeros híbridos de maíz biotecnológico con tolerancia a la sequía se comercialicen en Estados Unidos en 2012, y que el primer maíz tropical tolerante a la sequía llegue al África Subsahariana en 2017. La incorporación de tolerancia a la sequía al maíz de clima templado de los países industrializados marcará un hito importante, pero todavía más

cuando llegue al maíz tropical del África Subsahariana, América Latina y Asia. También se ha incorporado la tolerancia a la sequía a otros cultivos, como el trigo, que ha dado buenos resultados en los primeros ensayos de campo realizados en Australia, donde las mejores líneas han producido un 20% más que sus equivalentes convencionales. Se considera que la tolerancia a la sequía será de gran ayuda para aumentar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de todo el mundo, sobre todo en los países en desarrollo, en donde las sequías son más frecuentes y severas que en los países industrializados.

En conclusión, los pronósticos apuntan a que las sequías, las inundaciones y las variaciones térmicas serán cada vez más frecuentes y severas debido al cambio climático y que, por tanto, será necesario acelerar los programas de mejoramiento de cultivos para desarrollar variedades e híbridos que se adapten adecuadamente a los rápidos cambios de las condiciones climáticas. Los GM ya contribuyen a reducir las emisiones de CO₂, porque eliminan la necesidad de roturar una parte importante de la tierra cultivada, y ayudan a la conservación del suelo y especialmente a la humedad, y reducen la aplicación de plaguicidas, además de secuestrar CO₂ (James, 2010).

Otra herramienta biotecnológica importante es la selección asistida por marcadores moleculares, MAS, y puede utilizarse para paliar los efectos del cambio climático. MAS es el proceso de selección indirecta cuando se selecciona un rasgo de interés, no se basa en el rasgo en sí mismo, sino en un marcador ligado a él, y que está relacionado con el gen y locus de rasgos cuantitativos, QTL, de interés. La selección MAS puede ser útil para los rasgos que son difíciles de medir, exhiben baja heredabilidad, y se expresan tardíamente en el desarrollo (Ribaut, 2001).

1.3.2 Organismos aplicables a biorrefinerías y a la producción de biocombustibles

Los propósitos generales de la aplicación de las técnicas de la biotecnología moderna a los organismos aplicables a biorrefinerías y a la producción de biocombustibles son en primer lugar la producción de nuevas moléculas de uso industrial (farmacia, cosmética, alimentación, etc.), y en segundo lugar, la búsqueda de fuentes alternativas de energía.

Varios grupos de investigación de la región han comenzado a trabajar con bosque nativo y especies medicinales a fin de explorar las oportunidades comerciales en el uso de ingredientes naturales (ver tabla 14). La aplicación de tecnologías simples de bioprocesamiento ofrece un enfoque a corto plazo para la producción de edulcorantes, productos de sabor, jugos de frutas, aminoácidos, pigmentos, vitaminas y antioxidantes. Por ejemplo, el Grupo Backus SA Agroindustrial en Perú ha utilizado el camu-camu, un fruto amazónico de la familia Myrtaceae, para la extracción de ácido ascórbico (Roca *et al.*, 2004). En la tabla 14 se pueden apreciar los diferentes especímenes vegetales con sus propiedades para potencializar

Tabla 14. Metabolitos potenciales desde la óptica de la biorrefinería de cultivos transgénicos

Recurso biológico	Ingrediente clave	Propiedades
Maca (<i>Lepidium meyenii</i>)	Alcaloides, esteroides	Fertilidad, disfunción eréctil
Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	Isotiocianatos, pigmentos	Antibacterial (E. pilori), antioxidantes, insecticida
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolia</i>)	Oligofructanos	Edulcorante bajo en calorías
Native potatoes (<i>Solanum andigena</i> , <i>S. stenotomum</i> , <i>S. goniocalix</i> , <i>S. curtilobum</i> , <i>S. juzepesuki</i> , <i>S. chaucha</i> , <i>S. ajanhuiri</i>)	Pigmentos (antocianinas, xantofilas, carotenoides)	Antioxidantes, nutraceuticos
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	Pigmentos, alcaloides	Antioxidantes, nutraceuticos, insectos repelente
Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	Almidón de alimentos	Nutritivos para los bebés
Achira (<i>Canna edulis</i>)	Almidón (grano grande)	Industria del almidón
Sangre de grado (<i>Croton lechleri</i> , <i>C. perspicuosus</i> , <i>C. palanostigma</i> , <i>C. gossypifolium</i> , <i>C. draconoides</i>)		Antiviral, cicatrizante
Matico (<i>Piper angustifolium</i> , <i>P. aduncum</i>)	Monoterpenos (alcanfor, borneol camphenol, borneoliso), sesquiterpenos (bisabolol-beta), fenil propanoid	Nutraceuticos, anti-inflamatorios, contra antitusivo, anti diarreicos, -Vaginale Trichomona, antiséptico
Manayupa (<i>Desmodium molliculum</i>)	Los esteroides y ácidos orgánicos	Anti-inflamatorias de las membranas mucosas
Sand flower (<i>Tiquilia paronychoides</i>)		Neuroglandular sistema de antiinflamatorios Anti-inflamatorios Hepatovesicle
Agracejo (<i>Berberi vulgaris</i>)		Genitourinario anti-inflamatorios
White flower (<i>Buddleja incana</i>)		Anti-inflamatorio, desintoxicante de la sangre
Canchalagua (<i>Schkuria pinnata</i>)	Alto contenido de proteínas, saponinas	Alimentos nutritivos
Andean grains (<i>Chenopodium quinoa</i> , <i>C. pallidicaule</i> , <i>Amaranthus cadatus</i>)	Alto contenido de proteínas	Alimentos nutritivos
Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	Alto contenido de proteínas	Alimentos nutritivos

Fuente: Roca *et al.* (2004).

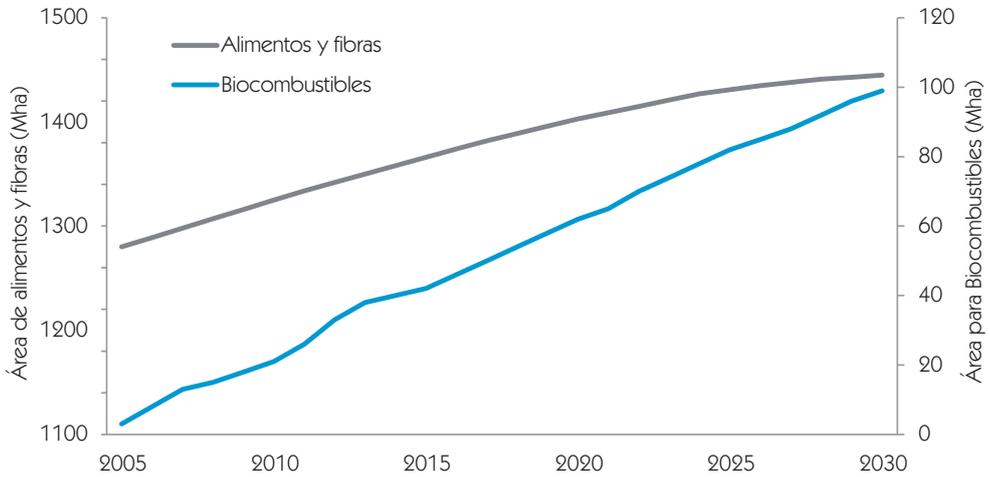
Debido a la demanda de compuestos farmacéuticos de origen biológico que existe en el mundo, la investigación en procesos para la producción a gran escala de hormonas, enzimas, anticuerpos y vacunas, entre otros, es extensa e intensa. Se utilizan y desarrollan distintos sistemas de hospederos para la producción de biofármacos recombinantes (bacterias, levaduras, líneas celulares de mamíferos, animales, plantas); la selección de uno u otro sistema depende del tipo de proteína y de las especificaciones técnicas que se requieren para su producción (Schillberg, Fischer y Emans, 2003).

La misión fundamental de la biotecnología verde en la producción de biocombustibles es optimizar y rentabilizar el rendimiento de biomasa/biocombustible por hectárea, a fin de producir combustible a precios más asequibles. Sin embargo, la función más importante de los cultivos biotecnológicos será su contribución al Objetivo de Desarrollo del Milenio, ODM, de garantizar un suministro seguro de alimentos asequibles y reducir la pobreza y el hambre en un 50% hasta 2015 (James, 2010).

En total, para 2030 serían necesarios 12,5 millones de hectáreas para la producción de biocombustibles (ver figura 28). El escenario utilizado puede ser considerado “radical”, en el sentido de que sería el límite de factibilidad de la implementación de programas de producción y uso en larga escala, en todos o la mayoría de los países del ALC. Además, no se tomaron en cuenta otros aspectos que reducirían la presión de demanda del área como:

- La utilización de residuos orgánicos (residuos de la agricultura, de la explotación forestal, de la agroindustria, de los desechos municipales) como materia prima para la producción de biocombustibles.
- La sustitución de diesel por etanol en el mediano plazo, lo que representa una demanda más baja del área por el diferencial de densidad energética entre la caña de azúcar (u otras plantas productoras de sacáridos) y las oleíferas.
- El desarrollo de nuevas tecnologías de transformación de biomasa en biocombustibles, como la clasificación y la transformación genética de microorganismos para producción de sustancias de PCI más elevado, como butanol, farneseno o similares. Si se toman en cuenta las tecnologías mencionadas, se podría reducir la demanda de área para producción de biocombustibles en valores aproximados entre 10% y 30%. Por el contrario, en caso de que no se consideren estas tecnologías, una vez que se ha demostrado la viabilidad de la producción de biocombustibles en el *worst case*, el escenario que más presiona la demanda por área agrícola, se generarían problemas con la oferta de otros productos de la agricultura, incluso en otros escenarios con un potencial conflictivo menor (Gazzoni, 2009).

Figura 28. Evolución de la demanda de tierra arable para producción de alimentos y biocombustibles

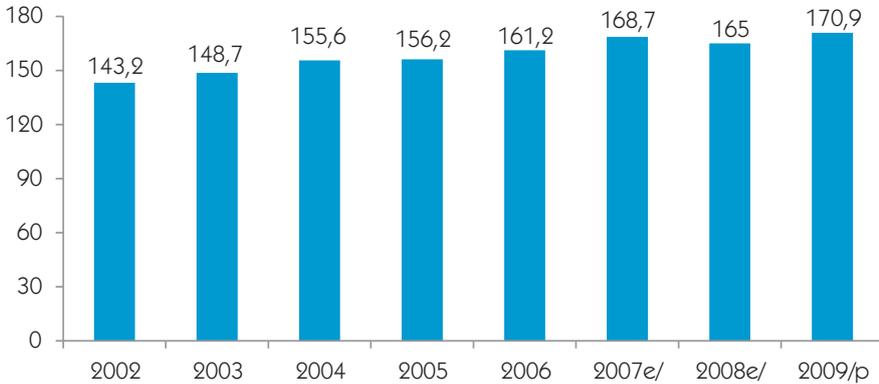


Fuente: Elaboración propia a partir de Gazzoni (2009).

1.3.3 Biofertilizantes y bioplaguicidas

El propósito de la producción de bioplaguicidas y biofertilizantes a partir del uso de métodos de la biotecnología moderna es la búsqueda de alternativas para la sustitución de fertilizantes y agroquímicos, dada la escasez de recursos no renovables. La producción de petróleo tiene una tendencia decreciente para los próximos años por su condición de recurso no renovable, siendo este una de las principales materias primas de los fertilizantes agroquímicos. La producción de estos fertilizantes presenta un aumento gradual (ver figura 29) y existe la vía de producción de biofertilizantes para contrarrestar el problema de la escasez del crudo y poder así garantizar abonos para los cultivos futuros (FIRA, 2009).

Figura 29. Consumo mundial de fertilizantes entre el período 2002-2009. Millones de toneladas de nutrientes



e/ estimado /p: proyectado

Fuente: Elaboración propia a partir de FIRA (2009).

Los beneficios que esgrimen los científicos dedicados a la investigación y desarrollo de las plantas transgénicas hacen referencia sobre todo a los incrementos en la producción de alimentos. En un momento en que la población mundial ronda los 6.000 millones de personas, y teniendo en cuenta que si el crecimiento de la población continúa con el ritmo actual del 2% la población se duplicará de aquí a unos 35 años y que la superficie de los suelos agrícolas disminuye en un 0,1% anual, se ve la necesidad de incrementar la producción agrícola de alimentos (Sánchez, 2008).

Los bioplaguicidas, según la definición de la EPA (s. f), son productos o sustancias naturales de los ecosistemas con poderes biocidas, incluyendo además microorganismos con acción patogénica usados con los mismos propósitos, y otras sustancias producidas por los vegetales, los cuales han sido objeto de mejoramiento a través de la ingeniería genética.

García y Mier los definen como los productos biológicos usados para el control de plagas agrícolas con base en insectos entomófagos, hongos (entomopatógenos y antagonistas), bacterias, virus y nemátodos entomopatógenos (García y Mier, 2003). En este grupo se incluyen cuatro tipos de productos (Rives, 2009):

- Los entomopatógenos, representados por hongos, bacterias, virus y nemátodos con acción biocida.
- Los organismos GM con la capacidad para regular las poblaciones perjudiciales de algunos artrópodos fitófagos.
- Los insumos sintetizados en laboratorio (feromonas sexuales), como herramientas

usadas en programas de manejo integrado de plagas para la detección y monitoreo de las poblaciones de algunos artrópodos fitófagos.

- Los metabolitos secundarios de los vegetales extraídos en los laboratorios y usados en los ecosistemas como biocidas.

El uso de biofertilizantes se basa en el conocimiento de la rizosfera, zona de la raíz donde abundan los microorganismos. Las fuentes de carbono pueden ser los residuos de células liberados por la ruptura de células viejas de la epidermis, el mucílago y los exudados de bajo peso molecular. Además de las fuentes de carbono, los microorganismos obtienen de la rizosfera agua, condiciones favorables de O_2 y mayor acceso a minerales como molibdeno, hierro, calcio, potasio y magnesio. Los microorganismos usados como fertilizantes tienen una relación mutualista con las plantas, denominada simbiosis. Cuando se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas, se denomina simbiosis obligada o estricta. Cuando el microorganismo sobrevive sin la planta y se asocia para el beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa. Los ejemplos de microorganismos usados como biofertilizantes son *Rhizobium* spp, *Azospirillum* spp y micorrizas (INIFAP, 2009).

1.3.4 Organismos para el mejoramiento nutricional y de producción

Como ejemplos de estos usos se pueden citar: incremento de la calidad nutricional y reducción de compuestos no deseables, incremento del rendimiento, mejoramiento de la calidad y cantidad de lignina en especies forestales, alteración del color de las flores de corte, retardo del climaterio de las frutas, bovinos OGM para obtención de productos lácteos con características específicas (producción de fármacos y hormonas de crecimiento).

Existen genes que se relacionan directamente con el riesgo de contraer enfermedades (cardíacas, cáncer, osteoporosis y diabetes, por ejemplo), y se conoce que la expresión de esos genes puede ser modificada por la nutrición. Todos llevamos alguna versión de esos genes, de modo que es perfectamente posible investigar cuáles son las versiones de genes que tenemos y basar nuestra dieta en esa información (García, 2007).

La British Medical Association, BMA, “ha identificado varias áreas donde se tiene que llevar a cabo más investigación. Algunas de ellas son: la aparición de nuevas alergias, las características nutricionales (en particular para grupos vulnerables como el feto, los niños o las mujeres embarazadas) y la transferencia de genes dentro del aparato digestivo” (Spendeler, 2005).

Aunque la superficie sembrada con cultivos GM se ha incrementado a un paso acelerado, esta expansión se ha dado en cuatro cultivos (soja, maíz, algodón y canola) que tienen dos atributos (resistencia a herbicidas y a insectos) en ocho países latinoamericanos (Brasil, Argentina, México, Uruguay, Paraguay, Bolivia, Honduras y Colombia). Si bien la mayoría de los cultivos GM han sido desarrollados por empresas multinacionales, recientemente se dio la liberación de un frijol GM con resistencia a virus, desarrollado por la Embrapa de Brasil. Sin embargo, los demás sistemas nacionales de innovación en América Latina, y sus actores públicos y privados, se limitan a adaptar y transferir características de interés a genotipos nacionales, usando técnicas mendelianas convencionales.

Países como Brasil, México, Argentina, Perú, Chile y Colombia utilizan un gran número de técnicas, mientras que la mayoría de los países centroamericanos usan muy pocas. De hecho, los cinco países mencionados concentran el 69% del total de las aplicaciones en la región. Este patrón se observa también en las inversiones y en los recursos humanos destinados a la biotecnología.

En este sentido, la Región Andina dedica la mayor atención a las raíces y tubérculos (25%), seguida de los microorganismos (15%) y los frutales y especies forestales (12%). En el Cono Sur, la mayor intensidad está en el uso de técnicas vinculadas a los frutales y especies forestales (28%), seguida de los microorganismos (16%) y los diferentes tipos de ganado (vacuno, ovino, caprino, porcino y avícola) (12%). América Central y el Caribe, por su parte, concentran su atención en los frutales y las especies forestales, los microorganismos y las flores y plantas ornamentales.

La red de laboratorios en biotecnología Redbio²² es una importante fuente de información, pues aglutina aproximadamente 70 laboratorios que llevan a cabo investigación biotecnológica en 32 países latinoamericanos y tiene registrados a más de 5.000 profesionales.

1.3.5 Organismos para biorremediación

Biorremediación es el proceso de limpieza de ecosistemas alterados mediante el uso de microorganismos, hongos o plantas (Meagher, 2000). Puede ser utilizada para atacar compuestos específicos como en el caso del uso de bacterias para descomponer el petróleo crudo resultante de derrames accidentales. Estos organismos pueden ser seleccionados con la ayuda de marcadores moleculares, buscando por ejemplo piramidar genes de interés; es posible su diseño mediante ingeniería genética o su programación por biología sintética. Un ejemplo del uso de bacterias GM es la *Deinococcus radiodurans* modificado para que pueda consumir el tolueno y los iones de mercurio de desperdicio nuclear altamente radiactivo (Holland, 2006).

22 Puede visitarse en <http://www.redbio.org/>

Las plantas son capaces de acumular altos niveles de metales cuando crecen sobre suelos contaminados. Al madurar, la biomasa enriquecida con metales es cosechada y una fracción de la contaminación es removida. Algunos metales como Cu, Fe, Mo, Mn, Ni y Zn son nutrientes minerales esenciales. La identificación de plantas capaces de acumular niveles extraordinariamente altos de metales demuestra que ellas tienen un potencial genético natural para limpiar suelos contaminados. El potencial de extracción de contaminantes de las plantas va a depender de la interacción entre el suelo, el metal y la planta (Lasat, 2002). Si se necesita hacer una remediación a gran escala, estas capacidades naturales no son suficientes y se requiere la sobreexpresión de los genes de la planta o la expresión transgénica de genes foráneos con el fin de incrementar o mejorar estos procesos. Las capacidades para la degradación biológica de las bacterias combinadas con la biomasa y estabilidad de las plantas, por ejemplo, parecen constituir el sistema óptimo para la biorremediación de contaminantes en el suelo (French, 1999).

Se han aislado bacterias presentes en ambientes contaminados con mercurio que poseen la enzima MerB (reductasa organomercúrica) que convierte el metilmercurio a Hg²⁺ y la enzima MerA (reductasa mercúrica) que convierte el Hg²⁺ a Hg⁰. Son necesarias ambas enzimas para convertir el metilmercurio a mercurio metálico. La expresión de ambos genes en una planta transgénica de *Arabidopsis thaliana* resulta en la conversión completa de metilmercurio a Hg⁰, y produce una tolerancia 50 veces mayor al MeHg que las plantas no transgénicas (Raskin, 1994). Se ha reportado sobreexpresión de la enzima glutamincisteina sintetasa, ECS, y de la enzima glutatona sintetasa, GS, en plantas transgénicas de *Brassica juncea*. Estas plantas se sembraron sobre suelos contaminados con metales pesados provenientes de explotaciones mineras. Las plantas ECS y GS acumularon 1,5 veces más cadmio y 2,0 veces más zinc que las plantas control no transgénicas de la misma especie, sembradas en idénticas condiciones, por efecto del incremento en los niveles de pépticos que específicamente se unen a los metales pesados (Boffetta, 1993).

Los contaminantes orgánicos son compuestos que pueden descomponerse completamente en constituyentes menos tóxicos (dióxido de carbono, iones nitrato, cloruro y amonio, entre otros). En este grupo se encuentran nitroarómicos como el trinitrotolueno, TNT, el pentaeritrol tetranitrato, PETN, y el glicerol trinitrato, GTN (Markert, 1994). La bacteria *Enterobacter cloacae* PB2 es capaz de utilizar PETN y GTN como fuentes de nitrógeno para su crecimiento, por efecto de la enzima llamada PETN reductasa, codificada por el gen *onr*. Con este gen se transformaron plantas de tabaco que fueron capaces de denitrar GTN (French, 1999).

1.3.6 Acuicultura

La aproximación conceptual que se utiliza en este trabajo considera también la biotecnología azul, la biotecnología aplicada a organismos acuáticos, como una categoría independiente. Sin embargo, se decidió subsumirla en la categoría de biotecnología verde, debido a su escaso desarrollo tanto en Colombia como en el mundo.

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos tales como peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas. Implica el uso de poblaciones de agua dulce o agua salada bajo condiciones controladas, diferente de la pesca comercial que se hace sobre poblaciones naturales de peces. El reporte global de las operaciones de acuicultura muestra que es la responsable de la producción de al menos la mitad del peces y pescados que son directamente consumidos por humanos. Además, la acuicultura es mucho más productiva que la pesca comercial. Tipos particulares de acuicultura incluyen: cultivo de peces, cultivo de camarones, cultivo de ostras, cultivo de algas y cultivo de peces ornamentales. Métodos particulares incluyen el “aquaponics”, que integra el cultivo de peces y de plantas.

Tabla 15. Grupo de especies usadas en acuicultura

Grupo de especies	Millones de toneladas
Peces de agua dulce	23,87
Moluscos	13,93
Plantas acuáticas	13,24
Peces diadromos	3,68
Crustáceos	2,85
Peces marinos	1,45
Otros animales acuáticos	0,38

Fuente: FAO (2004).

Como ejemplos de uso de herramientas de la biotecnología moderna en la acuicultura se analizarán los casos de la producción de algas para biocombustibles y el de peces GM con crecimiento optimizado.

Las reservas de combustibles fósiles están decreciendo, al tiempo que los niveles de dióxido de carbono han aumentado, produciendo un incremento en el efecto del cambio climático. Es urgente la obtención de nuevas fuentes renovables de combustible con emisiones netas de carbono reducidas. Por otro lado, los cultivos

de biocombustibles convencionales compiten con la producción de alimentos y con las áreas de conservación biológica. Se necesitan plantas de crecimiento rápido y fácil uso, que se desarrollen en contextos que no se utilicen para la agricultura ni para la conservación. Una alternativa es utilizar conjuntamente organismos microscópicos unicelulares que producen combustible directamente, y algas marinas que crecen rápidamente y se pueden recolectar para utilizar su biomasa. Las algas marinas no afectan los recursos de agua dulce, son biodegradables y tienen un efecto despreciable si se liberan en el medio ambiente. Además, se pueden cultivar en distintos tipos de aguas, incluidas las aguas residuales. Algunas especies de microalgas pueden ser también adecuadas para la producción de biocombustible y cultivo a escala industrial.

Sobre algunas especies de algas marinas se están usando las herramientas de selección asistida por marcadores moleculares y transformación, para obtener genotipos dirigidos a la producción de biocombustibles. También, algunas especies de algas microscópicas podrían ser programadas mediante biología sintética con el mismo propósito.

Son variados los tipos de biocombustibles producidos a partir de algas o microalgas, marinas o de agua dulce. La biomasa puede ser usada directamente para generar calor, vapor y electricidad. Alternativamente, a partir de la biomasa se puede obtener biocombustible gaseoso, como biogás o biohidrógeno, por varios tipos de procesos microbianos. El biohidrógeno también puede ser producido directamente de la luz solar mediante procesos microbianos fotobiológicos. La biomasa de las algas enriquecida en almidón puede ser fermentada para producir biocombustibles líquidos, tales como bioetanol y biobutanol. A partir del dióxido de carbono mediante el uso de la luz solar es posible producir bioetanol directamente, sin la participación de una etapa de fermentación. Algunas algas son ricas en aceites y otras pueden cultivarse bajo condiciones que favorezcan la acumulación de grandes cantidades de aceite. El aceite de algas es similar a otros aceites vegetales, o están constituidos principalmente de hidrocarburos, dependiendo de la especie usada. Este aceite puede convertirse en diesel, gasolina o combustible de avión usando la tecnología existente. La producción de todos los tipos de biocombustible, incluida la biomasa, puede mejorarse sustancialmente mediante el uso de la ingeniería genética y la ingeniería metabólica, los procesos de ingeniería o el uso de especies extremófilas (Chisti, 2007).

Entre las macroalgas, *Laminaria* spp y *Ulva* spp son los más importantes prospectos desde una perspectiva de producción de biocombustibles. Existen más de 30.000 especies conocidas de microalgas, pero solo un puñado son de interés comercial. Estas son generalmente cultivadas para extracción de componentes de alto valor como pigmentos y proteínas. Unas pocas especies son usadas para alimentar peces u otros propósitos en la acuicultura (Chisti, 2007).

Diferentes aproximaciones del mejoramiento genético han sido utilizadas exitosamente para incrementar la producción del salmón del Atlántico. La tecnología genética

abre nuevas oportunidades para comprender la naturaleza de la variación genética detrás de los caracteres de producción. Las dos áreas mayores en las cuales la tecnología genética desempeña un papel importante son la producción de peces GM, y el desarrollo y la utilización de marcadores genéticos. Varios estudios de salmones GM han mostrado sustancial incremento en las tasas de crecimiento. Los marcadores moleculares pueden ser usados para propósitos de acuicultura y para monitoreo de poblaciones naturales. La construcción de mapas genéticos basados en marcadores disponibles para identificación de QTL podría facilitar la selección asistida por marcadores, para caracteres económicamente relevantes que tienen dificultades para ser mejorados mediante técnicas mendelianas convencionales, tales como la eficiencia en la conversión de alimentos y la resistencia a enfermedades. La tecnología de marcadores DNA puede ser usada para la identificación y monitoreo de líneas, familias e individuos, y para el mejoramiento genético a través de la selección de genes y de combinaciones de genes de interés (Brunelli, 2008).

Se desarrolló una línea transgénica de Tilapia transformada con una copia simple del gen que codifica para la hormona del crecimiento, GH, derivado del salmón. En este genotipo se encontró una expresión generalizada del gen, y no se reportó ninguna anomalía en los órganos, probablemente debido a que la GH foránea imita la expresión de la GH endógena durante la ontogenia. La Tilapia GM crece hasta tres veces más que su contraparte no transformada (Devlin, 2005).

1.4 Temas transversales

Los temas transversales que se proponen como parte de la Agenda Biotecnología moderna son temas que impactan a las tres áreas que la componen: biotecnología verde, biotecnología roja y biotecnología blanca. Al mismo tiempo que son temas sobre los que se formulan preguntas que deben ser respondidas mediante la investigación científica, constituyen temas de estudio y de formación de los especialistas en biotecnología. Aquí se asumen no como temas en sí mismos, puesto que cada uno tiene sus especificidades, sino en la interacción con la biotecnología moderna.

1.4.1 Derechos de propiedad intelectual y biotecnología, DPI

Los DPI son un tema esencial en el desarrollo de los procesos de investigación en biotecnología, y deberían ser tenidos en cuenta desde el inicio de tales procesos, incluso antes de plantearse los diseños experimentales. Los resultados de los análisis sobre DPI deberían determinar estos diseños en sí mismos. Las razones tienen que ver con que en el mundo actual, intercomunicado y globalizado, los DPI son tanto la finalización de un proceso de investigación, cuando se obtiene una innovación que puede ser protegida por ejemplo por patentes, como iniciación de un proceso, dado que las redes de patentes orbitan sobre las posibles innovaciones biotecnológicas, dificultando que estas puedan ser aplicadas a la producción.

Los subtemas que se consideran relevantes e interaccionan con la investigación biotecnológica son: patentes, certificados de obtentor UPOV, licenciamiento académico, sistemas colaborativos de innovación y estudios de libertad de operación. Una patente es un derecho exclusivo concedido a una invención, que es el producto o proceso que ofrece una nueva manera de hacer algo, o una nueva solución técnica a un problema. Una patente proporciona protección para la invención al titular de la patente por un período de 20 años. El titular de una patente tiene el derecho de decidir quién puede utilizar (permisos, licencias, venta) la invención durante el período en el que está protegida la invención. Cuando la patente expira, expira asimismo la protección, y la invención pasa a pertenecer al dominio público. Una invención debe cumplir unas condiciones para ser protegida por una patente: tener uso práctico, ser novedosa, y su materia debe ser aceptada como “patentable” de conformidad a derecho. En numerosos países, las teorías científicas, los métodos matemáticos, las obtenciones vegetales o animales, los descubrimientos de sustancias naturales, los métodos comerciales o métodos para el tratamiento médico no son patentables (OMPI, 2008).

Las invenciones biotecnológicas que pueden ser patentables se categorizan en: productos en la forma de químicos, organismos, extractos vegetales y materiales fermentados; procesos o métodos para desarrollar productos útiles; composición y

formulación de productos tales como vacunas, proteínas y hormonas. Varias patentes establecidas como invenciones génicas han sido aceptadas en diversos países e incluyen: genes o secuencias parciales de DNA tales como cDNA (DNA copiado de RNA mensajero), EST (fragmentos de genes expresados), SNP (polimorfismo de un solo nucleótido); elementos regulatorios tales como promotores, *enhancers* y *silencers*; proteínas codificadas por esos genes y sus funciones en el organismo; vectores usados para la transferencia de genes desde un organismo a otro; organismos genéticamente modificados (microbios, plantas, animales) y sus líneas celulares derivadas; procesos para desarrollar organismos genéticamente modificados; usos de secuencias de genes y proteínas incluyendo pruebas para enfermedades genéticas específicas o para determinar la predisposición a cada enfermedad, fármacos desarrollados sobre la base del conocimiento de proteínas específicas y su actividad biológica, y aplicaciones industriales de funciones de las proteínas (Lakshimikuraman y Phillips, 2005).

Finalmente, cabe plantear varios asuntos relacionados con las patentes (OMPI, 2008): las patentes tienen aplicación en jurisdicciones nacionales; las leyes acerca de lo que es patentable varían de país a país; patentes que fueron expedidas, pueden no estar en vigor si el titular de la patente no ha hecho los pagos regulares debidos; las patentes son un monopolio limitado y expiran.

Con relación a las patentes interesa: entender la lógica de este tipo de DPI, conocer la legislación nacional e internacional, participar en el debate sobre protección por DPI de resultados de investigación derivados de financiación pública, analizar la conveniencia de patentar o no.

La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales, UPOV, es una organización intergubernamental con sede en Ginebra (Suiza). Fue creada por el Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales adoptado en París en 1961, y revisado en 1972, 1978 y 1991. El objetivo del Convenio es la protección de las obtenciones vegetales por un derecho de propiedad intelectual. La UPOV mantiene contacto permanente con gobiernos interesados en hacer parte de la Unión, otorga asesoría legal, administrativa y técnica a organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales internacionales. De las modificaciones introducidas por el acta de 1991 se resalta la posibilidad de doble protección, es decir, que una variedad pueda ser protegida tanto por patente como por certificado de obtentor (UPOV, 1991).

Las condiciones para obtener un certificado de obtentor sobre una variedad mejorada son: a) novedad: a la fecha de la aplicación para obtener los derechos de obtentor, la variedad no debe ser explotada comercialmente; b) diferencia: la variedad debe ser claramente distinguible de cualquier otra variedad; c) uniformidad: la variedad debe ser suficientemente uniforme en sus características relevantes; d) estabilidad: las características relevantes de la variedad deben ser estables (UPOV, 1991).

Los derechos concedidos mediante un certificado de obtentor de una variedad vegetal son derechos de propiedad intelectual y se garantizan por un período de tiempo limitado, al final del cual las variedades protegidas pasan al dominio público. La protección es por 25 años para vides, árboles forestales y árboles frutales incluidos sus portainjertos y de 20 años para las demás especies. No se requiere permiso del tenedor para el uso de la variedad protegida con propósitos privados y no comerciales, investigación y desarrollo de nuevas variedades. Se precisa autorización del detentor del certificado, para producción o reproducción, condicionamiento con el fin de propagar, oferta para la venta, venta u otro mercadeo, exportación, importación, almacenamiento para multiplicación o importación (UPOV, 1991).

Los derechos de obtentor se declaran nulos cuando no se cumplen las condiciones de novedad, diferencia, uniformidad y estabilidad, y se cancelan cuando no se suministra la información, el material y los documentos que verifiquen el mantenimiento de la variedad (UPOV, 1991).

Con relación a los certificados UPOV, interesa entender la aplicación de este tipo de DPI y debatir sobre su aplicación en el contexto de universidades públicas, uso de materiales provenientes de comunidades locales, legalización de bancos de germoplasma situados en la universidad, ley de semillas.

Tabla 16. Diferencias entre patentes y certificados de obtentor UPOV

CONCEPTOS	PATENTES	POV (SEGÚN UPOV)
Objeto	Inventiva tecnológica	Cultivar (variedad cultivada) y material de reproducción
Requisitos	Novedad; paso inventivo; utilidad o aplicación industrial	Novedad comercial; distinguible; uniforme; estable
Tipo de protección	Excluir otros de manufactura, uso, venta y distribución; acciones con previo consentimiento	Similar (reproducción y multiplicación)
Tiempo de protección	20 años	15 a 20 años
Derechos del titular	Licencia; venta	Licencia; venta
Derechos de terceros	Licencia obligatoria; oposición/re-examinación; invalidación; excepción experimentación/educación	Derechos del mejorador; para uso en cruzamientos Privilegio (excepción del agricultor) de nuevas siembras

Fuente: UPOV (1991).

Uno de los principales problemas relacionados con el ambiente de propiedad intelectual, PI, que rodea las invenciones es la acumulación de patentes (Shapiro, 2001). Esta acumulación surge cuando se suman las patentes asociadas a cada paso del desarrollo de un producto. Por ejemplo, en el proceso para la obtención del arroz dorado se encontraron relacionadas alrededor de 70 patentes que involucran desde elementos necesarios para su desarrollo, hasta patentes sobre el producto final (Thomas, 2006). La acumulación de patentes genera varios problemas: restricción de la libertad de operación para los investigadores, es decir, inhabilidad para desarrollar y comercializar un producto (Shapiro, 2001); bloqueo del libre flujo y difusión de conocimiento científico, efecto conocido como “la tragedia de los anticomunes” (Heller y Eisenberg, 1998). Específicamente en el área de la biotecnología, la inquietud se asocia con el acceso a información, materiales biológicos y procesos de amplio uso. La libertad de operación se basa en la deconstrucción de la innovación, para definir y entender todos los instrumentos de DPI que la afectan, dado que en biotecnología se protegen tanto materiales biológicos como procedimientos. La libertad de operación busca maximizar las opciones de uso de la innovación e imponer un límite al uso de herramientas protegidas por DPI.

En general, una entidad que inicia una investigación se enfrenta al problema de obtener licencias de cada uno de los titulares de la o las tecnologías involucradas en el desarrollo de un producto. Sin embargo han surgido algunas estrategias que les ha permitido a los investigadores de instituciones privadas y públicas continuar sus trabajos. Estas estrategias incluyen el licenciamiento cruzado, *pools* de patentes, compra y fusión de compañías y sistemas “open source”, OS. Así pueden establecerse sistemas colaborativos de innovación.

Las licencias cruzadas son acuerdos entre entidades que conceden a cada una el derecho de utilizar la patente del otro (Shapiro, 2001). Los *pools* de patentes se constituyen cuando cada entidad participante cede o licencia sus derechos de propiedad intelectual individuales a una entidad específica, que a su vez explota los derechos colectivos por licenciamiento, industrialización o ambos (Shapiro, 2001).

En biotecnológica se han utilizado estrategias como fusiones y adquisición de firmas, al igual que modelos de *pools* de patentes y OS. Distintas fusiones y compras han permitido el desarrollo de varios productos. La obtención del maíz Roundup Ready, por ejemplo, involucra nueve tecnologías patentadas, controladas en un punto por cinco firmas independientes. Este tipo de fusiones y adquisiciones son realizadas por corporaciones multinacionales que tienen el dinero suficiente para asumir los costos asociados a este tipo de procesos (Marco, 2007). Las instituciones públicas, por su parte, han desarrollado otras estrategias de manejo de propiedad intelectual: creando organizaciones de “derechos colectivos”, solicitando licenciamiento obligatorio de patentes con cuotas establecidas, formando y manejando *pools* de patentes públicas, adquiriendo directamente patentes de tecnologías clave y ubicándolas en el dominio público (Atkinson, Marco, y Turner, 2009; Graff y Zilberman, 2001).

Un ejemplo de *pools* de patentes de instituciones públicas es Pipra, Recursos Públicos de Propiedad Intelectual para la Agricultura, una organización sin ánimo de lucro del sector público que agrupa más de 50 instituciones de cerca de 15 países. Su principal objetivo es apoyar la innovación en agricultura, tanto para fines humanitarios como para fines comerciales de pequeña escala. Fue creada con el fin de facilitar el uso de invenciones para el desarrollo y la comercialización de productos mejorados, especialmente cultivos. La estrategia de Pipra consiste en la retención colectiva de derechos sobre tecnologías desarrolladas por instituciones públicas. A través de acuerdos de licencias se asegura el proceso de investigación y potencial comercialización (Atkinson et al., 2009).

Los sistemas “open source”, OS, aparecieron en el mundo del software, generando alternativas como linux que son de código abierto, diferente al código cerrado convencional. Un ejemplo de sistemas OS aplicados en biotecnología es la propuesta BIOS (Innovaciones biológicas para una sociedad abierta). La iniciativa BIOS desarrolla además dos principios, ciencia abierta (“open science”) y sociedad abierta (“open society”). Como ciencia abierta, considera crear y compartir nuevas tecnologías y plataformas en biotecnología que pueden ser utilizadas para desarrollar innovaciones, así como desplegar nuevos mecanismos de licenciamiento y colaboración que tengan resonancia con el movimiento OS y se adaptan a la innovación biológica. Como sociedad abierta, pretende aumentar la transparencia, la accesibilidad y la capacidad de utilizar todas las herramientas de la ciencia, ya sea patentada, de acceso abierto o de dominio público. La iniciativa BIOS fomenta la cooperación descentralizada de innovación en la aplicación de las tecnologías biológicas, a través de: a) fusión de la propiedad intelectual y el análisis de la informática; b) reforma estructural del sistema de innovación, y c) acceso abierto cooperativo de actividades de desarrollo tecnológico. De manera similar al sistema OS de software, BIOS agrupa tecnologías básicas para el desarrollo de productos biotecnológicos (el equivalente al código fuente) que permanecen como un bien común sobre el cual pueden hacerse mejoras. Si bien la licencia BIOS permite el patentamiento sobre el producto final, no es el caso para las mejoras de las tecnologías básicas que deben ser puestas a disposición de la red (Shapiro, 2001).

Sobre los sistemas alternativos de innovación, interesa discutir su aplicación para cada una de las áreas de biotecnología, trabajar en la construcción de propuestas para las instituciones públicas e implementar políticas internas sobre PI.

1.4.2 Licenciamiento académico

El licenciamiento académico se refiere a cuando una universidad licencia sus DPI a terceros. En el verano de 2006, a instancias del decano de investigación de la Universidad de Stanford, se reunieron doce instituciones académicas norteamericanas

para discutir este tema. En dicha reunión, además de los organizadores, participaron: California Institute of Technology, Cornell University, Harvard University, Massachusetts Institute of Technology, Stanford University, University of California, University of Illinois (Chicago), University of Illinois (Urbana-Champaign), University of Washington, Wisconsin Alumni Research Foundation, Yale University y Association of American Medical Colleges (AAMC).

Estas instituciones produjeron un documento, que denominaron *in the Public Interest: Nine Points to Consider in Licensing University Technology*, y que resume tanto la posición como la experiencia de estos importantes centros académicos, en relación con el licenciamiento de la tecnología producida en las universidades. A continuación se resumen estos nueve puntos, adaptándolos hasta donde sea posible a la realidad colombiana.

1. Las universidades deben reservarse el derecho de licencia, para permitir que otras organizaciones gubernamentales y organizaciones sin ánimo de lucro puedan usar esas innovaciones, tanto para asegurar la práctica de las invenciones, como el uso de los datos y la información asociada para los propósitos de la investigación y la educación, incluyendo investigación patrocinada por entidades comerciales. Otro asunto es asegurar la transferencia de material tangible (materiales biológicos y compuestos químicos) y de material intangible (software, bases de datos, *know-how*) hacia terceros en los sectores gubernamentales y sin ánimo de lucro.
2. Las licencias exclusivas deben estar estructuradas de una manera que fomente el desarrollo y el uso de la tecnología. Es muy importante que las oficinas de transferencia de tecnología de las universidades tengan en cuenta el impacto potencial que las licencias exclusivas puedan tener sobre nueva investigación, los usos no anticipados y los futuros esfuerzos de comercialización y mercadeo.
3. Es preciso esforzarse por reducir al mínimo las licencias de “futuro mejoramiento”. Los licenciarios buscan garantizar el acceso a futuras mejoras de la innovación licenciada. Esta obligación puede esclavizar al profesor que ha desarrollado el invento a la empresa licenciataria, afectando negativamente su capacidad de recibir financiación de otras empresas, colaborar con científicos de otras empresas, o incluso colaborar con científicos de otras universidades.
4. Las universidades deben anticipar y ayudar a gestionar los conflictos de intereses en relación con la transferencia de tecnología. Las oficinas de transferencia de tecnología han de ser especialmente conscientes y sensibles acerca de su papel en la identificación, análisis y gestión de conflictos de interés, tanto en el investigador como en los diferentes niveles institucionales.

5. Se debe garantizar un amplio acceso a las herramientas de investigación. Este enfoque está en consonancia con el de numerosas revistas científicas. Los científicos deben poner a disposición de otros sus resultados (nuevos anticuerpos, líneas celulares, modelos animales, compuestos químicos) para verificar los datos publicados y las conclusiones.
6. Las acciones legales de cumplimiento deben ser cuidadosamente consideradas. Es importante que las universidades tengan en cuenta que el uso de patentes es para promover el desarrollo tecnológico para el beneficio de la sociedad. Todos los esfuerzos deben hacerse para beneficio de los dos lados, licenciador y licenciario, y para promover la continua expansión y adopción de nuevas tecnologías. El litigio es rara vez la mejor opción para resolver disputas.
7. Ser cuidadoso de la regulación para exportaciones. Obviamente este punto tiene que ver con la situación en la cual se consigue licenciar un producto para el mercado externo; por ejemplo, el programa de licenciamiento de variedades de fresa de la Universidad de California – Davis debe considerar las reglas de exportación de Estados Unidos de plantas *in vitro*.
8. Ser cuidadoso de las implicaciones de trabajar con agregadores de patentes. Estos trabajan típicamente bajo dos modelos: valor agregado y “trol” de patentes. En el primer modelo, el licenciario ensambla un portafolio de patentes relacionado con una tecnología particular. En el segundo modelo, los agregadores adquieren derechos que abarcan uno o más campos tecnológicos, sin una intención real de comercializar.
9. Considerar la inclusión de disposiciones dirigidas a resolver necesidades insatisfechas, tales como enfermos sin atención médica y regiones geográficas olvidadas, dando especial atención al mejoramiento de la salud y las tecnologías agrícolas para los países en desarrollo. Las universidades tienen un pacto social con la sociedad. Como instituciones educativas y de investigación detentan la responsabilidad de generar y transmitir conocimientos, tanto a los estudiantes como a la sociedad en general. La universidad tiene una función específica y central que es ayudar a avanzar el conocimiento en muchos campos, y administrar la implementación de innovaciones que se deriven para el beneficio público.

Sobre licenciamiento académico, interesa a la Agenda Biotecnología el debate sobre políticas internas y la consideración de los nueve puntos planteados por el grupo de Stanford, así como el establecimiento de una oficina de transferencia de tecnología o por lo menos de una oficina virtual, y el entrenamiento en el tema, que incluya diplomados virtuales.

1.4.3 Bioética²³

La bioética constituye en la actualidad un campo de conocimiento nuevo, en construcción, el cual promueve a partir de una metodología deliberativa el abordaje de los conflictos que se presentan en los campos de las ciencias de la vida y la percepción humana, es decir, de la búsqueda de elementos para la deliberación moral en el quehacer científico y técnico. El gran desarrollo de la biotecnología ha logrado sobrepasar las barreras de la imaginación de lo posible y viable, evidenciando que no todo lo posible es ético y que no todo lo viable es aceptable desde la perspectiva de la definición de una política pública.

Estas situaciones han mostrado grandes contrastes, pues mientras técnicamente se va ganando la batalla en el campo del mejoramiento de los alimentos, se han incrementado los niveles de desnutrición y acceso a los alimentos por parte de millones de personas, quienes además están expuestas al maltrato al medio ambiente y a la poca esperanza de vida. Igual sucede en salud, donde se han desarrollado sofisticados sistemas biotecnológicos para detección y manejo de enfermedades que son inalcanzables por grupos que cada vez están más vulnerables frente a sistemas que los tratan, no como personas sino como clientes que deben generar réditos a un sistema que se ha deshumanizado dramáticamente.

Por ello se insiste en la urgencia de abrir espacios de debate racional, reflexivo, responsable y colectivo sobre el puente que debería existir permanentemente entre la ciencia y la conciencia, la técnica y la moral, que a su vez permitiera pensar en una vida posible con un medio ambiente limpio, donde prevalecieran principios como el del bien común y el individual, y la justicia para dar a cada quien según sus necesidades.

La ética entonces es entendida como la obligación racional de aplicación de acciones más coherentes frente a la responsabilidad no solo individual sino colectiva, no solo del presente sino pensando en el futuro. Esta ética como recta razón y proceder en ciencia, y particularmente en biotecnología, debe llevar a pensar en qué investigación desarrollar en nuestro medio para sus necesidades propias, cómo y con quiénes desarrollarla, para quiénes y cómo regularla para que no se presenten el engaño, el fraude y la publicación de resultados que desorienten a la comunidad. La buena investigación no solo es aquella que metodológicamente se acoge a los principios universales y que está desarrollada según estándares reconocidos; es también aquella que respeta y reconoce la autonomía de las personas, que respeta sus derechos humanos naturales, que garantiza la existencia de la cultura, tradiciones, y comprende y asimila sus imaginarios, que no violenta la organización social y tampoco a los individuos. Es buena ciencia la sensible por el dolor y el sufrimiento de los animales y se preocupa por reducir cada vez más su uso pensando en cómo disminuir las

23 Documento propuesto por las profesoras Carmen Alicia Cardozo y Afife Mrad de Osorio del Instituto de Biotecnología y validado por los expertos de la agenda.

variables garantizando resultados. Es buena ciencia la que piensa constantemente en los posibles riesgos y efectos deletéreos de la misma sobre las personas y el medio ambiente. Es buena ciencia aquella que sabe que, aunque técnicamente la vida se puede manipular, piensa antes de hacer procedimientos cuya incertidumbre pueda lesionar la dignidad humana.

Estas preocupaciones han llevado a la formulación de acuerdos, códigos, principios y pautas que a nivel internacional se consideran de urgente aplicación y apropiación por parte de nuestros países, que se espera que no solamente tengan carácter reflexivo y analítico sino que se vuelvan normas legales. La Unesco en su más reciente declaración hace énfasis en los principios de dignidad humana, libertad, derechos humanos y justicia considerando la primacía de la persona, la no discriminación, el ejercicio de la autonomía individual y colectiva, y el derecho a la privacidad, confidencialidad e intimidad, así como la obligación de compartir equitativamente los resultados de la investigación.

Todo esto lleva a pensar que en la investigación en biotecnología deberían primar la honestidad y la integridad, la transparencia y la apertura, la utilización de métodos científicos racionales, la consulta a la comunidad y a los expertos, la equidad en los procesos de toma de decisiones, que puede llevar a prevenir riesgos, asegurar el debate público y, en general, a tener en cuenta las prácticas transnacionales de investigación.

El mejor ejemplo que se puede dar a esta articulación entre hechos y valores, calidad, validez y sensibilidad se encuentra en el trabajo con modelos animales experimentales para investigación, desarrollo e innovación en biotecnología. La comunidad abierta en general puede tener un concepto de uso o cuidado de los animales desde su perspectiva, desde su concepto de ser biológico y sintiente, lo que ha dado origen a grandes grupos que promueven la abolición del uso del animal en investigación o cualquier forma de explotación por parte del ser humano, mientras que otro gran sector piensa que es posible usar y cuidar animales para investigación biológica y biomédica aplicando principios de respeto, consideración, protección y rigor en investigaciones que no atenten contra la extinción de una especie animal, que no contravengan acuerdos internacionales, y que se acojan a los acuerdos que para ello se han signado en cuanto a la calidad y el bienestar animal. De ser posible, esto podría llevar a la comunidad nacional a desarrollar esquemas de trabajo mucho más competitivos, y además más humanos, más sensibles, facilitando el diálogo de pares con países donde esta ciencia está altamente desarrollada, contrario a lo que sucede en nuestro país, donde no solo se desconocen las normas vigentes a nivel mundial, sino que se carece totalmente de los espacios de deliberación al respecto. Esto no solamente está incidiendo en el resultado mismo de la investigación sino también del desarrollo tecnológico y del producto que llega al usuario (FAO, 2001).

No todo lo legal es ético ni todo lo ético puede convertirse en ley. Existen normas cuya interpretación puede llevar a validar acciones que no deberían presentarse -por ejemplo, patentar genes humanos- pues la función primordial de la norma jurídica es establecer reglas que al ser aplicadas en contextos específicos pueden tener una diferente interpretación. Por otro lado, puede existir la norma legal lejos de la construcción cultural, local o regional que le quite deslegitimidad, dado que no puede existir principio o ley que vaya más allá de las creencias o los valores mismos de los pueblos. La norma jurídica debe contar con un proceso de legitimización social que es mediado por un proceso comunicativo en el cual está inmersa una serie de condicionantes valorativos propios de quien transmite el conocimiento.

Lo que se ha mencionado hasta ahora constituyó el mayor argumento para que la Directiva Europea 44/98 sobre patentes e innovaciones biotecnológicas estableciera de manera clara y contundente algunos aspectos sobre patentamiento que garantizan unas normas morales mínimas en el ejercicio práctico innovativo, estableciendo claramente las exclusiones para la patentabilidad en:

- Los procedimientos de clonación de los seres humanos.
- Los procedimientos de modificación de la identidad genética germinal del ser humano.
- La utilización de embriones humanos con fines comerciales o industriales.
- Los procedimientos de modificación de la identidad genética de las especies animales.

Aunque estos puntos son susceptibles de un análisis profundo en relación con la biotecnología y sus posibilidades, dejan suficientemente claro que lo más importante es la vida humana, la dignidad, la consideración del ser como único e irrepetible, que no se puede instrumentalizar a favor del desarrollo científico o de la innovación tecnológica. Por ello, también en la misma normativa se estableció como directriz central que el Grupo Europeo de Ética de las Ciencias y las Nuevas Tecnologías evaluará todos los aspectos éticos vinculados con los proyectos y desarrollos biotecnológicos. Se promoverá por tanto la deliberación constante sobre todos los nuevos problemas que surgen en torno a estos novedosos temas en la investigación, partiendo del poco conocimiento que aún se tiene en muchos campos, especialmente de la salud humana. Muy seguramente el principio de la precaución será uno de los motores de la deliberación, pues este promueve un análisis mesurado, integral, amplio, de las posibles acciones o efectos de las investigaciones para recomendar al investigador algunas alternativas a fin de evitar daños o exposición a riesgos medioambientales o a los seres vivos.

Frente a este debate surge la bioética de la protección, que intenta dar cuenta de una categoría especial de conflictos morales que se presentan particularmente en estos países con las carencias mencionadas, en acciones impulsadas por la globalización,

buscando la garantía no solo de derechos ciudadanos, sino de vida digna con posibilidad de realización de proyectos de vida compatibles con sus creencias particulares. Se enmarca también en los postulados ideales de la bioética global basada en un diálogo social amplio, participativo y deliberativo que respete todos los ámbitos de las creencias y los desarrollos, pero que haga posible la vida y, como lo promueve Hans Jonas (citado en Leyton, 2003), una vida en dignidad y con ambiente sostenible para las futuras generaciones. Promueve la ética de la protección una reflexión en torno no solo a si las tecnologías incrementarán o no la inequidad y la justicia, sino al estudio de los problemas que persisten y que son el producto de otros factores ya conocidos pero también de responsabilidad de los investigadores y los empresarios, así como de los académicos, generados por la investigación, el desarrollo y la innovación.

La ética de la protección piensa en la identidad y diferencia de manera compleja, en el sentido de considerar al mismo tiempo lo que distingue o puede distinguir una bioética latinoamericana (Roland, 2005) de la de otras tradiciones sin llegar al relativismo moral, por lo que se ocupa de manera crítica de las razones y los argumentos morales utilizados por los actores sociales para justificar sus prácticas, y esto implica también analizar la forma y consistencia de los conceptos, las teorías y los métodos utilizados. Esto quiere decir, por ejemplo, que los estándares para investigación en seres vivos serán utilizados en un mismo nivel tanto para los países desarrollados como para los países subdesarrollados, como lo han establecido las *Pautas éticas internacionales para investigación en seres humanos* publicadas por la OPS/OMS (Lolas, 2003).

El trasfondo del discurso bioético, como dice Hoyos (2005), está en el conocimiento entre el creer y el saber, y entre el conocimiento científico y la moral, actitudes que parecen competir por determinar la condición humana a partir del diálogo y el reconocimiento, pero fundamentalmente en la comunicación, como lo propuso Habermas. El sentido de la vida, que es intervenido ahora por la biotecnología, se ha dejado como esencia del saber de las religiones, se olvida que es una pretensión cotidiana individual y colectiva que se construye y reconstruye con todas las tareas, acciones, ilusiones y creencias, pero la filosofía, y particularmente ahora el campo de la bioética, ha retomado esta tarea: la búsqueda del significado del ser humano y su papel, su responsabilidad en la sociedad actual, y su corresponsabilidad en las venideras generaciones aproximándolo constantemente al quehacer tecnológico y la innovación.

Esto implica necesariamente tomar, a partir de las creencias, el papel de las representaciones sociales, la interpretación de los mensajes comunicativos y la intencionalidad de los mismos. Una cosa es que una comunidad padezca un problema, y que un grupo quiera solucionarlo para generar una tecnología o una innovación, y otra cosa es que un grupo con intereses de lucro cree el problema, “venda” la idea de su existencia y explote a una comunidad con el propósito de crecer para sus fines, es decir, usa a la comunidad como medio y no como fin en sí misma. Este creer y saber

en el caso colombiano se ve plasmado en el conflicto armado y en la confrontación política de manera vehemente, y en medio de todo ello está la comunidad que recibe argumentos y ataques de un lado y otro, porque según el lado de donde se mire, hay razones y argumentos para ello, por lo que surge por un lado el terrorismo dotado de ingeniosas e innovadores armas y estrategias, y, por el otro, la legislación o restricción con armas, también muy sofisticadas, que pretende acabar con un problema de concepciones de vida, de estado y, en fin, de organización social y de concepto de vida, muerte, ser humano, ser social, ser hombre o ser mujer. Así, por ejemplo, a pesar de los avances y de los cambios de rol de la mujer en la sociedad, en la mayoría de los sectores prevalece la mirada masculina patriarcal de una sociedad plasmada en las normas, que impulsa aún el enfoque pecaminoso de la vida sexual de la mujer, de su responsabilidad y obligación de asumir la maternidad con resignación y como parte de sus funciones mas no de su realización personal. Se asume todavía en la práctica a la mujer como una menor de edad, incapaz además de dar su opinión frente a sus ideales y deseos, y no se reconoce la autonomía sobre su cuerpo y su racionalidad. Se le niega la posibilidad no solo de expresar sus deseos, sino que se le “aplasta” en medio del conflicto armado. La redefinición de roles sociales, del sentido colectivo e individual de la vida, solo es posible a partir del diálogo, del respeto y del reconocimiento de unos y otros en una sociedad plural que debe mirar sus significados más allá de lo religioso, de lo político o de la jerarquía social, ejercitando la tolerancia y reconociendo la diversidad y la multiculturalidad para lograr acuerdos viables y cumplibles que se constituyan en mínimos para la convivencia.

Esto implica una gran responsabilidad para el sector académico en torno a la educación y la formación, y para el sector empresarial implica el ingreso en el diálogo social mediado o impulsado por el sector educativo.

Es legítimo el lucro empresarial porque es su esencia, y son legítimas la deliberación y la crítica académica porque también son su esencia. Articular conjuntamente los desarrollos investigativos con el futuro empresarial es una alianza que beneficiará a todos si tiene como base la transparencia y la honestidad en la mira de los intereses de las comunidades y de los graves problemas vigentes. La realización de estas acciones solo es posible por la vía comunicativa, tanto teórica como práctica.

Por estas razones la OPS, desde su Unidad de Bioética en Chile, ha querido contribuir al establecimiento de diagnósticos que evidencien los puntos clave para la deliberación o la búsqueda de alternativas con un estudio sobre el tema, encontrando que se pueden considerar para América Latina los siguientes, como los principales problemas de tipo ético:

- Problemas de bioseguridad.
- Pérdida de la diversidad biológica.
- Expropiación del germoplasma y del conocimiento ancestral que de él se deriva, sin reconocimiento.

- Experimentación sin mecanismos de control:
 - Incapacidad de fiscalización previa y de seguimiento posterior.
 - Ausencia de marcos jurídicos efectivos de protección.
 - Carencia de personal científico preparado.
 - Biopiratería.
 - Nocividad ambiental.
 - Carencia de responsabilidad del científico en la incidencia social.

Este amplio panorama que pretende vincular la ciencia, la tecnología y la sociedad, deja más preguntas que respuestas puesto que aún en muchos aspectos no se da el debate necesario en nuestro país. Las técnicas son magníficas, por supuesto, son seductoras, extraordinarias, tienen una repercusión en la vida, en la opinión pública, pero, ¿cuál es su valor moral?, ¿qué valor moral tienen esas técnicas?, ¿el progreso es bueno en sí mismo?, ¿de qué progreso estamos tratando?, ¿entonces solo en algunos casos el progreso es bueno en sí mismo? El progreso es necesario y debe ser prudente. ¿La sociedad podrá perder la fe en el progreso? El progreso de la ciencia se da por la fe en la investigación. ¿Podemos detener el progreso? ¿Qué progreso?, ¿el progreso de la ciencia?, ¿el progreso de la tecnología?, ¿el progreso de la humanidad, de la sociedad?, o el progreso del pensamiento humano, ¿qué beneficios está trayendo para nosotros?

Líneas o campos de conocimiento que debería abordar la biotecnología en la Universidad Nacional de Colombia:

- Bioética y biotecnología
- Conflictos éticos en investigación biotecnológica en salud
- Conflictos éticos en investigación biotecnológica agrícola
- Conflictos éticos en investigación biotecnológica medioambiental
- Conflictos éticos en investigación biotecnológica y bioinformática
- Observatorio de la conducta responsable en investigación en Colombia

Capacidades y competencias por desarrollar:

- Ética en investigación
- Bioética en investigación
- Ética en investigación biomédica
- Ética en investigación psicosocial
- Ética y propiedad intelectual
- Conducta responsable en investigación

1.4.3 Bionegocios²⁴

En la actualidad las empresas presentan una serie de características muy enmarcadas por las tendencias y los avances tecnológicos que conllevan el desarrollo y la innovación de nuevas herramientas cada vez más eficientes y competitivas para las organizaciones. La capacidad de transformación de las nuevas tecnologías incide en la gestión, productividad, estilo de dirección y naturaleza del trabajo, trayendo consigo la incorporación de entornos y aplicaciones basadas en el desarrollo y puesta en marcha de nuevos procesos.

Conociendo estos antecedentes es muy importante detallar que cada una de estas características incide y colabora en el proceso de creación de nuevas empresas basadas en conocimiento a través de la investigación y la innovación aplicada y orientada a dar respuesta a una necesidad dada por el mercado. El apalancamiento de estos desarrollos se fundamenta en el soporte y apoyo de las redes de trabajo interdisciplinario.

El montaje y puesta en marcha de una iniciativa de emprendimiento se fundamentan en la promoción de las relaciones Universidad-Empresa, incentivando la innovación y la transferencia de tecnologías desde las universidades hacia los sectores industriales, y obteniendo el fortalecimiento de las actividades empresariales. El fomento de la innovación competitiva, la investigación aplicada, la transferencia de tecnología y la formación continuada son las herramientas esenciales para la generación del cambio en los principales sectores industriales del país. La incubación de ideas de empresa se soporta en la inserción de los estudiantes como actores principales de los procesos de investigación e innovación orientados a la construcción de nuevas ideas de empresa (*spin off* universitarias).

Anexo 3. Expertos de la Agenda Biotecnología

Los expertos que componen la Agenda Biotecnología se presentan en la tabla 17. Son expertos de la Agenda Biotecnología, que han sido reconocidos por la comunidad por sus aportes a nivel científico, tomando como base el número de publicaciones de documentos en esta temática y el impacto de estos en otras investigaciones.

Tabla 17. Expertos de la Agenda Biotecnología

Apellidos y nombres	Facultad	Ciudad	Correo electrónico
Sonia Amparo Ospina Sánchez	Ciencias	Bogotá	saospinas@unal.edu.co
Alejandro Chaparro Giraldo	Ciencias	Bogotá	achaparro@unal.edu.co
Carlos Eduardo Orrego Alzate	Ingeniería y Arquitectura	Manizales	corregoa@unal.edu.co
Francisco Cristóbal Yepes Rodríguez	Facultad de Ciencias Agropecuarias	Medellín	fcyepes@unal.edu.co
Carlos Ariel Cardona Alzate	Ingeniería y Arquitectura	Manizales	ccardonaal@unal.edu.co
Liliana Serna Cock	Ingeniería y Administración	Palmira	lserna@unal.edu.co

Fuente: Autores.

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 cincuenta personas vinculadas al proyecto, 15 de ellos docentes, 27 estudiantes auxiliares, 14 de pregrado y 13 de posgrado, así como dos profesionales y cinco funcionarios de apoyo. A continuación se mencionan las personas involucradas en cada uno de los equipos.

Tabla 18. Integrantes equipos apoyo logístico y apoyo conceptual coordinación

NOMBRES	EQUIPO
Adriana del Pilar Sánchez Vargas	Apoyo conceptual coordinación
Pedro Amaya Rodríguez	Apoyo logístico

Tabla 19. 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 Andrés Morales M.	Profesional universitario
Sloan Moreno Rodríguez	Profesional universitario

Agenda: BIOTECNOLOGÍA

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