

PLAN QUINQUENAL DE FORMACIÓN E INSERCIÓN LABORAL EN BIOTECNOLOGÍA Y HPC PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

OBJETIVO ESTRATÉGICO 1

Generar procesos de formación en función de las necesidades de los actores (academia, empresa y gobierno) para apoyar el sistema biotecnológico y de biología computacional del país.



El Proyecto Caldas BioRegión como mecanismo para generar procesos de formación en función de las necesidades de los actores (academia, empresa y gobierno) y apoyar el sistema biotecnológico del país, desarrolló el presente documento como guía formar generaciones de profesionales en la capacidad de responder a los desafíos de las tendencias mundiales.



Sede Manizales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y HPC para el departamento de Caldas



Sede Manizales



Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y HPC para el departamento de Caldas

Centro de Bioinformática y Biología
Computacional de Colombia (958-59498)

ISBN 978-958-59498-6-7

Autor(es)

Diaz Rozo, María Natalia
Bedoya Ortiz, Dago Hernando
Gómez Cardona, Jorge Hernán
Gómez, Eduardo
Correa Agudelo, Esteban
Serrano Ruiz, Claudia Patricia
Tamayo, Jhonny
Arias, Tatiana

Corrector

Grafos Soluciones S.A.S

Diagramación e Impresión

Editorial Blanecolor S.A.S

Descripción Física

Propalibro Beige de 70 gr
150 paginas
tamaño 17 x 24 cm

70 Ejemplares

Manizales, Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo I Antecedentes nacionales en biotecnología, bioinformática y computación de alto desempeño en Colombia	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Apuestas gubernamentales de la última década en torno a la biotecnología...	13
1.3 Directrices gubernamentales en materia de educación en CT&I.....	13
1.4 Estudio prospectivo de la biotecnología en Colombia-Universidad Nacional de Colombia	15
1.5 Conclusiones	20
Capítulo II Caracterización del sector de biotecnología, bioinformática, biología computacional y computación de alto desempeño en el departamento de caldas	21
2.1 Caracterización de los grupos de investigación en biotecnología, bioinformática y biología computacional.....	21
2.2 Caracterización de los grupos de investigación en computación de alto desempeño en Colombia.....	28
2.3 Capacidades de los laboratorios en biotecnología, bioinformática y biología computacional.....	30
2.3.1 Capacidades de capital humano.....	30
2.3.2 Capacidades institucionales.....	31
2.3.3 Capacidades de transferencia tecnológica.....	35
2.3.4 Capacidades – Capital Relacional.....	38
2.3.5 Capacidades de capital tecnológico.....	40
2.4 Capacidades Centros de Computación de Alto Desempeño BIOS.....	50
2.4.1 Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia-BIOS-(Manizales).....	50
Descripción General:.....	50
Características técnicas y tecnológicas-2015.....	51
2.4.2 Parque Tecnológico Guatiguará- Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga).	52
Descripción General:.....	52
Características técnicas y tecnológicas-2015.....	52
2.4.3 Plataforma GRID-Universidad de los Andes (Bogotá).....	53
Descripción General:.....	53

Características técnicas y tecnológicas-2015	53
Enclosure HP BladeSystem c7000:	53
2 Servidores blade ProLiant BL460c Gen8	53
2.4.4 Centro de Alto Rendimiento Computacional Javeriano -Universidad Javeriana (Bogotá)-	54
Descripción General:	54
Características técnicas y tecnológicas-2015	54
Clúster zine01	54
Clúster ingsistemas:	54
Clúster condor:	54
2.4.5 Centro de Computación Científica Apolo-Universidad EAFIT (Medellín).....	55
Descripción General:	55
Características técnicas y tecnológicas-2015	55
Hardware	55
Software	55
2.5 Capacidades nacionales educativas en biotecnología, bioinformática, biología computacional y computación de alto desempeño	55
2.5.1 Oferta nacional educativa en biotecnología, bioinformática y biología computacional.	55
2.5.2 Oferta educativa en biotecnología del departamento de Caldas.	59
2.5.3 Oferta nacional educativa en computación de alto desempeño.	59
2.5.4 Demanda nacional educativa en torno a la biotecnología, bioinformática y biología computacional.	61
2.5.6 Demanda nacional educativa en computación de alto desempeño.	63
2.6 Debilidades en formación de capital humano	66
2.7 Oportunidades de formación de capital humano	67
2.8 Conclusiones	67
Capítulo III Análisis internacional	69
3.1 Factores sociales y de mercado orientadores de la demanda de bienes y servicios biotecnológicos a nivel global	69
3.2 Temas de debate internacional en torno a la biotecnología.....	76
3.3 Benchmarking de estrategias internacionales para la formación de capital humano en biotecnología	77
3.4 Estrategias internacionales para fomentar el conocimiento en torno a la biotecnología	81

3.5 Análisis de actores estratégicos para la formación de capital humano a nivel internacional.....	82
3.6 Análisis Internacional para HPC	86
3.6.1 Computación de alto desempeño.....	86
3.6.2 Antecedentes de uso de la computación de alto desempeño en la industria global.....	87
3.6.3 Análisis de las Estrategias y Tendencias Internacionales en computación de alto desempeño.	88
Europa.....	88
Asia	89
Estados Unidos.....	90
3.6.4 Distribución de la computación de alto desempeño con base en sus mercados de aplicación.....	90
3.6.5 Actores Internacionales Estratégicos en Computación de Alto Desempeño...	92
3.7 Conclusiones	94
Capítulo IV Análisis prospectivo para el plan quinquenal en biotecnología, bioinformática y computación de alto desempeño para Caldas.....	95
4.1 Análisis de Ecuaciones Estructurales.....	95
Capacidades de investigación	96
Demanda y oferta educativa	96
Información económica del departamento de Caldas.....	96
Necesidades de mercado	96
Variable seleccionada: Necesidades Productivas, número de Doctores.....	98
4.2 Inserción laboral en torno a la biotecnología y la computación de alto desempeño en Colombia	114
4.3 Conclusiones.....	117
Capítulo V Construcción de la estrategia de formación e inserción laboral en biotecnología y bioinformática para el departamento de Caldas	122
5.1 Introducción	122
A nivel técnico y tecnológico	122
A nivel de posgrados	122
5.2 Construcción de la estrategia según la metodología Balanced Scorecard.....	123
5.2.1 Definición de la visión estratégica.....	123
5.2.2 Definición de cuadro de mando integral.....	123

Glosario	133
Referencias	137
Anexos	144
Anexo N°1	144
Anexo N°2	146
Anexo N°3	149
Análisis de productividad del sector Primario para el departamento de Caldas....	149

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Temáticas de trabajo identificadas como estratégicas para la Universidad Nacional.....	16
Ilustración 2. Proyecciones de investigación y extensión por tipos de biotecnología y campos de aplicación.....	17
Ilustración 3. - Clasificación de los grupos de investigación en biotecnología en el GroupLAC.....	21
Ilustración 4. Número de grupos de investigación en biotecnología por departamento.....	22
Ilustración 5. Clasificación de los grupos de investigación de biotecnología por tipos de biotecnologías en las que trabajan.....	23
Ilustración 6 Distribución de los grupos de investigación en biotecnología por área de conocimiento.....	23
Ilustración 7. Clasificación de los grupos en bioinformática y biología computacional en el GroupLAC.....	24
Ilustración 8. Clasificación de los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional por áreas de conocimiento.....	24
Ilustración 9. Número de investigadores con formación doctoral que trabajan en los grupos de investigación en biotecnología en Colombia.....	25
Ilustración 10. Proporción de investigadores con formación doctoral que trabajan en biotecnología en el Departamento de Caldas.....	26
Ilustración 11. Total profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia y el departamento de Caldas.....	26
Ilustración 12. Número de profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia.....	27
Ilustración 13. Participación porcentual de grupos de investigación en biotecnología del Departamento de Caldas sobre total nacional.....	28
Ilustración 14. Número de grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia por Departamentos.....	28
Ilustración 15. Clasificación de los grupos en computación de alto desempeño según el GroupLAC.....	29
Ilustración 16. Clasificación de grupos de investigación en computación de alto desempeño por áreas de conocimiento.....	29
Ilustración 17. Número de grupos de investigación en computación de alto desempeño en Colombia por Departamentos.....	30

Ilustración 18. Número de personas vinculadas a actividades de I+D en laboratorios de biotecnología estudiados por nivel de formación	31
Ilustración 19. Número de personas vinculadas a actividades de I+D en los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados por nivel de formación	31
Ilustración 20. Tipos de biotecnología usados y/o investigados por los laboratorios en biotecnología estudiados	32
Ilustración 21. Áreas de aplicación final de los productos y procesos obtenidos por los laboratorios de biotecnología estudiados	33
Ilustración 22. Tipos de biotecnología usados y/o investigados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados	33
Ilustración 23. Áreas de aplicación final de los productos y procesos obtenidos por los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados	34
Ilustración 24. Porcentaje de recursos destinados a I&D en el año 2015 en los laboratorios en biotecnología según el tipo de fuente de financiación	34
Ilustración 25. Porcentaje de recursos destinados a I&D en el año 2015 en los laboratorios de bioinformática y biología computacional según el tipo de fuente de financiación	35
Ilustración 26. Número de productos científicos generados en los últimos 5 años por los laboratorios de biotecnología estudiados	36
Ilustración 27. Laboratorios de biotecnología que durante los años 2014-2015 aplicaron a procesos de concesión de patentes u otro mecanismo de propiedad intelectual para proteger investigaciones o desarrollos	36
Ilustración 28. Número de productos científicos generados en los últimos 5 años por los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados	37
Ilustración 29. Laboratorios de bioinformática y biología computacional que durante los años 2014-2015 aplicaron a procesos de patentes u otro mecanismo de propiedad para proteger investigaciones o desarrollos	37
Ilustración 30. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en biotecnología estudiados con actores nacionales	38
Ilustración 31. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en biotecnología estudiados con actores internacionales	39
Ilustración 32. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados con actores nacionales	39
Ilustración 33. Número de proyectos desarrollados con actores internacionales por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados	40
Ilustración 34. Porcentaje de laboratorio de biotecnología que cuentan con el activo en mención	44

Ilustración 35. Porcentaje de laboratorios en bioinformática y biología computacional que cuentan con el activo en mención.	50
Ilustración 36. Clasificación de la oferta educativa en biotecnología y bioinformática en Colombia por nivel de educación -2014-.....	56
Ilustración 37. Concentración geográfica de la oferta educativa en biotecnología, bioinformática y biología computacional en Colombia -2014-	57
Ilustración 38. Proporción de programas ofrecidos en biotecnología y bioinformática en Colombia por áreas de conocimiento -2014-.....	58
Ilustración 39. Número de programas en biotecnología y bioinformática ofrecidos por universidades de Colombia -2014-	58
Ilustración 40. Resumen de ingresos en 2013 en billones de dólares USD para la industria HPC por campos de aplicación	90
Ilustración 41. Proyección de ingresos a 2018 en billones de dólares USD de la industria HPC por campos de aplicación.....	91
Ilustración 42. Análisis de los ingresos en HPC mediante tasa de crecimiento anual TCAC	92
Ilustración 43. Ubicación de variables por cuadrantes según su nivel de importancia.....	97
Ilustración 44. Nivel de satisfacción de las necesidades por medio de programas de formación ofertados	103
Ilustración 45. Grado de satisfacción de necesidades en el escenario de variables de resultados (Puntaje: B. Roja 1; B. Verde 1; B. Blanca 3; B. Gris 3; B. Dorada 1).	108
Ilustración 46. Grado de satisfacción de las necesidades en el escenario de variables autónomas (Puntaje: B. Roja 3; B. Verde 5; B. Blanca 4; B. Gris 2; B. Dorada	111
Ilustración 47. Grado de satisfacción de las necesidades en el escenario de variables de entrada	113
Ilustración 48. Comportamiento de los sectores económicos relacionados con las áreas de educación propuestas	116
Ilustración 49. Programas académicos y líneas de investigación propuestos para el plan quinquenal	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Potenciadores e inhibidores correspondientes a la Agenda de Biotecnología.....	18
Tabla 2. Caracterización del capital tecnológico de los laboratorios en biotecnología en estudio.....	41
Tabla 3. Equipos que los laboratorios de biotecnología planean adquirir en los próximos 5 años.....	44
Tabla 4. Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en laboratorios en biotecnología.....	45
Tabla 5. Servicios que los laboratorios en biotecnología esperan que centros como BIOS puedan ofrecerles.....	45
Tabla 6. Caracterización del capital tecnológico de los laboratorios de bioinformática y biología computacional en estudio.....	46
Tabla 7. Algunos equipos previstos para ser comprados por los laboratorios de bioinformática y biología computacional en los próximos 5 años.....	49
Tabla 8. Servicios que los laboratorios en bioinformática y biología computacional esperan que centros como BIOS puedan ofrecerle.....	49
Tabla 9. Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en los laboratorios de bioinformática y biología computacional.....	50
Tabla 10. Oferta educativa en el departamento de Caldas relacionada con la biotecnología -2014-.....	59
Tabla 11. Oferta nacional educativa en computación de alto desempeño.....	60
Tabla 12. Tendencias internacionales en biotecnología.....	70
Tabla 13. Estrategias implementadas para la formación de capital humano en biotecnología por países referentes a nivel global en ésta área de la ciencia.....	78
Tabla 14. Universidades y centros de biotecnología en países desarrollados referentes a nivel mundial en torno a ésta área de la ciencia.....	83
Tabla 15. Universidades y centros de biotecnología en países en desarrollo referentes a nivel global en torno a ésta área de la ciencia.....	85
Tabla 16. Muestra de centros de computación de alto desempeño referentes a nivel internacional que abordan temas de interés para Colombia.....	93
Tabla 17. Matriz relacional entre las variables analizadas (0 carece de influencia; 1 influencia baja; 2 influencia media; 3 influencia fuerte)......	97
Tabla 18. Escenario clave.....	99
Tabla 19. Necesidades concluyentes por nivel de importancia Escenario clave (Puntaje: B Roja 5; B. Verde 3; B. Blanca 2; B. Gris 3; B. Dorada 2)......	104

Tabla 20. Escenario de resultados.....	104
Tabla 21. Escenario de variables autónomas.....	109
Tabla 22. Necesidades concluyentes por nivel de importancia – Escenario de variables autónomas.....	112
Tabla 23. Variables de entrada (Puntaje: B. Roja 1; B. Verde 3; B. Blanca 1; B. Gris 3).....	112
Tabla 24. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Variables de entrada (Evaluación: B. Roja 1; B. Verde 3; B. Blanca 1; B. Gris 3; B. Dorada 1).....	114
Tabla 25. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario Clave por Tipo de Biotecnología.....	118
Tabla 26. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Resultados.....	119
Tabla 27. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Variables Autónomas.....	119
Tabla 28. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Variables de Entrada.....	120
Tabla 29. Plan de implementación Objetivo Estratégico N°1.....	125
Tabla 30. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 2.....	128
Tabla 31. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 3.....	130
Tabla 32. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 4.....	132

Lista de Cuadros

Cuadro 1	144
Cuadro 2	146
Cuadro 3	149

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES NACIONALES EN BIOTECNOLOGÍA, BIOINFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO EN COLOMBIA

1.1 Introducción

La biotecnología se define como “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (ONU, 1992)¹. Esta es considerada por científicos sociales, de las ciencias biológicas y hacedores de políticas públicas, como una de las técnicas que podría revolucionar la producción en la medicina y la agricultura, entre otras áreas (Otero, 1991), percepción que se deriva del potencial técnico, las posibilidades que ofrece y de manera especial a partir del descubrimiento del ADN, de abordar desde el ámbito tecnológico problemas de productividad agrícola y escasez de alimentos (FAO, 2015; Phillips, 2002; Herdt, 2006; Dahlandera, 2010; Wiley, 2011). Otras aplicaciones se relacionan con el desarrollo de medicina personalizada, de energías alternativas, de nuevos insumos y procesos industriales; de mecanismos para la limpieza de agentes contaminantes (derrames de petróleo y remoción de metales pesados) (Fava, 2015; Gavrilescu, 2010; FAO, 2015; Uma, 2003), entre otros. En general, para países como Colombia el interés de desarrollar el sector biotecnológico se asocia con su potencial para: 1) Buscar atender necesidades globales y nacionales con soluciones que implican valor agregado; 2) Mejorar la competitividad de la estructura económica del país; 3) La posibilidad de generar ventajas competitivas a partir de ventajas comparativas derivadas de la biodiversidad como motor de la economía; y 4) Estimular la formación de empleos altamente calificados (Semana, Memorias del Foro en Biotecnología y Bionegocios, 2011)

Simultáneamente, la revolución tecnológica de las últimas décadas incluye el desarrollo de la computación de alto desempeño. Esta disciplina hace referencia a la práctica

¹ En la actualidad se reconocen diferentes tipos de biotecnología según el sector de aplicación. Dentro de las principales se encuentran las siguientes: **Biotecnología roja:** incluye investigación y desarrollos biotecnológicos con aplicación al campo de la salud, medicina y diagnóstico médico; **Biotecnología amarilla:** enfocada en temas nutricionales, producción de alimentos funcionales y efectos benéficos en la salud humana; **Biotecnología verde:** incluye investigación y desarrollos biotecnológicos con aplicación en el sector agrícola. Incluye la creación de nuevas variedades de plantas de interés agrícola, la producción de biofertilizantes y biopesticidas; la producción de variedades de plantas modificadas, o transgénicas. Esta tecnología incluye en sus objetivos el desarrollo de plantas resistentes a enfermedades; el uso de plantas transgénicas con mayores niveles nutricionales; la producción de variedades de plantas que actúen como bio-fábricas para la producción de sustancias médicas, o de interés industrial; **Biotecnología blanca:** comprende toda la biotecnología desarrollada para uso en procesos industriales. En los objetivos de esta tecnología se encuentra el diseño de procesos y productos de bajo consumo de recursos, hacerlos más eficientes en términos energéticos y menos contaminantes en comparación con los tradicionales. Incluye el uso de microorganismos en la producción de químicos, el diseño y la producción de nuevos materiales de uso común (plásticos, telas, etc.) y el desarrollo de nuevas fuentes de energía sostenible como los biocombustibles.; **Biotecnología gris:** incluye todas las aplicaciones de la biotecnología directamente relacionadas con el medio ambiente. La aplicación de esta tecnología comprende dos ramas: el mantenimiento de la biodiversidad y la remoción de contaminantes. En relación con esta primera se busca la conservación de especies y el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de genomas. Respecto a la segunda, desarrollar procesos de biorremediación usando microorganismos y plantas para aislar o remover diferentes sustancias como metales pesados, hidrocarburos, entre otros.

de implementar el uso de supercomputadores y técnicas de procesamiento paralelo para resolver problemas computacionales complejos, aplicados en la resolución de grandes problemas de la ciencia, la ingeniería y los negocios (Wellein, 2010); abarca el almacenamiento, tratamiento y análisis de conjuntos de cantidades masivas de datos, con el objetivo de revelar patrones, tendencias y asociaciones (Mayer, 2013); y su desarrollo está transformando la manera como se comprenden las ciencias biológicas y acelerando la tasa de descubrimientos, como sucede en el ámbito de la genómica (Vivien, 2013). El estudio y la aplicación de recursos genéticos derivados de la biodiversidad guardan una importancia económica intrínseca; en el espectro de aplicaciones de la misma se encuentra el mejoramiento genético de cultivos con el objetivo de optimizar las condiciones de seguridad alimentaria y la calidad nutricional de los alimentos; el uso de biomasa para la generación de bioenergía; y el desarrollo de condiciones de resiliencia al cambio climático. Otras aplicaciones se relacionan con el desarrollo de medicamentos, nuevos insumos y procesos para la industria. Desde ésta óptica existe la expectativa de que la investigación en biotecnología y genómica desempeñe un papel crítico en la capacidad de respuesta ante nuevos desafíos derivados del crecimiento de la población humana; el incremento en la demanda de energía y los diferentes efectos derivados del cambio climático. Propósitos para los cuales, la bioinformática y la biología computacional constituyen herramientas de trabajo indispensables.

En relación con lo anterior, el departamento de Caldas a través de su política de ciencia y tecnología enmarcada en el Plan Estratégico del año 2013, identificó una serie de áreas fundamentales de desarrollo, las cuales se soportan en las capacidades actuales tanto económicas como científicas del departamento. Uno de esos pilares de desarrollo es la biotecnología, disciplina que es coherente con las prioridades de política pública nacional y que se incluye en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Para ello, el departamento de Caldas a través del Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia-BIOS-, decide fortalecer el desarrollo del sector biotecnológico de la región a través de la construcción de diferentes instrumentos institucionales que apoyen y fortalezcan los pilares que hacen parte del sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación. En consecuencia, se plantea la formulación de un plan quinquenal de formación e inserción laboral en biotecnología y computación de alto desempeño, cuyo objetivo es la dinamización del capital humano e intelectual requerido para el fomento del surgimiento de una industria en este sector.

Para el proceso de definición de una política pública en este tipo de disciplina, se requiere partir de una correcta identificación y definición de la problemática hacia la cual, dirigir el diseño de la intervención gubernamental. La relevancia de esta etapa radica en evitar incurrir en el denominado “error de tercer tipo”, que de acuerdo con Dunn (2004) corresponde al reto más importante del analista y diseñador de políticas públicas, pues significaría ofrecer una solución al problema que no es (Matamoros, 2013). Por esta razón, para el diseño del Plan Quinquenal se hace necesario realizar una lectura del estado del arte de la educación y la situación laboral alrededor de estas dos tecnologías (biotecnología, y computación de alto

desempeño). De igual modo, reconocer las capacidades a nivel nacional y departamental en materia de capital humano, institucional, científico y tecnológico, además de conocer el entorno político y económico. Lo anterior, con el objetivo de identificar las variables problemáticas y activas hacia las cuales, dirigir la estrategia de formación de capital humano y empleo en torno a estas dos tecnologías para el departamento de Caldas.

Siguiendo esta lógica, la revisión de documentación e información gubernamental, de estudios realizados con antelación por distintas instituciones, y el levantamiento de información adicional para caracterizar las capacidades nacionales y departamentales sobre estas dos tecnologías, ofrece una primera aproximación de las variables problemáticas y activas en mención.

A continuación, se detallan los principales resultados generados en el contexto nacional y regional:

1.2 Apuestas gubernamentales de la última década en torno a la biotecnología

En Colombia desde la década de los años noventa se realizaron los primeros esfuerzos para institucionalizar el Programa de Biotecnología a través del Departamento Nacional de Ciencia y Tecnología (Colciencias). Posteriormente, en el año 1998 se formuló el **Plan Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999-2002**, concebido como instrumento de planeación y priorización de líneas de investigación. El Plan Estratégico incluyó en sus principales objetivos estratégicos: 1) La promoción de la transferencia tecnológica en empresas de base biotecnológica; 2) El fomento a la inversión de capital de riesgo en biotecnología; y 3) El apoyo a la formación de recursos humanos en todas las áreas del proceso innovador de la biotecnología (mercadeo, comercialización, transferencia tecnológica y propiedad intelectual), en todas las instituciones que se desarrollen en este campo.

1.3 Directrices gubernamentales en materia de educación en CT&I

En el contexto nacional de política pública educativa para el fortalecimiento del desarrollo de la ciencia y la tecnología en Colombia, se han definido directrices en relación con el sistema educativo idóneo para este propósito. Estas se enmarcan en dos líneas de acción: el Plan Decenal Nacional de Educación y el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación para el Desarrollo de las TIC.

El *Plan Nacional Decenal de Educación (2006-2016)*, es el documento que establece el horizonte deseado para su vigencia en materia de educación, y en este destacan los siguientes objetivos: 1) “Incrementar significativamente para el año 2016 las alianzas entre actores, instituciones públicas y privadas, nacionales e internacionales, para el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación” (p.11); 2) “Incrementar en un 25% las patentes

al implementar procesos de investigación en asocio con el sector productivo” (p.12); 3) “Construir para el 2016 un sistema de información de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que permita articular y desarrollar programas con el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación” (p.20); 4) “Para el 2015 desarrollar actividades interdisciplinarias y articuladas con otras redes académicas internacionales” (p.20); 5) “Para el 2016 orientar el 100% de los programas de formación técnica y tecnológica hacia la creación de empresas” (p.14); 6) “Que el 50% de los estudiantes participe en procesos de intercambio, pasantías y movilidad tanto a nivel nacional e internacional” (p.21); 7) “Que el 60% de los profesores utilice herramientas TIC en su práctica pedagógica” (p.245). En conclusión, para que la construcción de una oferta educativa para el departamento de Caldas sea coherente con las políticas nacionales esta deberá: 1) Ofrecer investigación con aplicación en el sector productivo; 2) Fomentar el trabajo interdisciplinario y en red entre actores; 3) Estimular la aplicación de herramientas TIC; 4) Fortalecer la internacionalización; 5) Formar en competencias para crear nuevas empresas; y 6) Incrementar el número de solicitud de patentes. Adicionalmente, y respecto a este último componente el Documento **Conpes 3697** de *Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad*, indica la necesidad de trabajar en el “diseño e implementación de estrategias de formación virtual para asesores y emprendedores en propiedad intelectual” (p.22).

En cuanto a los aportes realizados por el departamento de Caldas a dicho plan en la definición de objetivos se encuentran además: 1) “Para el 2016, evaluar y referenciar la calidad del sector educativo en relación con los estándares internacionales de calidad” (Ministerio de Educación, 2006, p.1); 2) “Generar alianzas estratégicas entre el sector productivo y educativo con el objetivo de lograr mayor pertinencia en el aprendizaje” (Ministerio de Educación, 2006, p.1); 3) “Generar convenios interinstitucionales (Ministerio de Educación, 2006, p.2); 4) Incorporar la ciencia y la tecnología, lo que incluye el uso de las TIC, en el desarrollo de procesos educativos” (Ministerio de Educación, 2006, p.1); 5) “Establecer redes de trabajo en equipo entre actores de la academia y las empresas” (Ministerio de Educación, 2006, p.20); y 6) “Realizar proyectos de investigación con dinámicas de trabajo colaborativo con actores de diferentes sectores” (Ministerio de Educación, 2006, p.2).

En materia de sugerencias para fomentar el capital humano en cuanto a estas tecnologías, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (FITI, 2013) propone: 1) “Fomentar el uso y la apropiación del conocimiento así como, el desarrollo de modelos de negocios de sectores identificados como estratégicos para el país” (p.44); 2) “Permitir que los actores nacionales se conecten con redes globales, y teniendo en cuenta las oportunidades de los mercados internacionales, identifiquen posibles socios a nivel internacional” (pp.52-53); 3) “Desarrollar en los alumnos competencias en innovación (p.47); 4) Definir áreas de trabajo con carácter prioritario y estratégico para el país que contribuyan a que Colombia adquiera liderazgo internacional en temas específicos” (pp.47-52); 5) “Fomentar el desarrollo de capacidades de investigación científica” (p.52)

6) Atraer y establecer acuerdos de trabajo colaborativo entre centros de investigación y desarrolladores de proyectos” (p.53); 7) “Desarrollar modelos de negocios en torno a la educación que se proporciona” (p.53); 8) “Aplicar la educación para resolver problemas concretos” (p.54); 9) “Establecer alianzas, redes y marcos de estrechamiento de la colaboración entre los agentes regionales para desarrollar economías de escala” (p.71); 10) “Alinear la educación con la estructura productiva del país y con el objetivo de insertarse en los mercados internacionales” (p.65); 11) “Fomentar el emprendimiento en el entorno educativo” (p.65); 12) “Generar fuentes de financiación directas e indirectas” (p.60); y 13) “Articular los esfuerzos en torno a otras iniciativas que ya están en marcha en el país en torno a las TIC” (p.60).

En el contexto departamental el **Plan Regional de Caldas para el 2032** hace alusión a la necesidad de desarrollar mecanismos que: 1) “Contribuyan a convertir la región en una zona atractiva para la inversión extranjera” (p.71); 2) “Formen a los estudiantes para generar nuevas empresas” (p.71); 3) “Permitan a los actores nacionales trabajar de forma colaborativa y en red, para articular las capacidades en recursos humanos y financieros y a su vez, maximizar el resultado del esfuerzo” (p.71); 4) “Fomenten la incubación de empresas (...) permitan a las instituciones educativas abarcar de forma completa la cadena de valor del conocimiento” (p.70); 5) “Ofrezcan formación y capacitación en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva así como, transferencia de tecnología” (p.71); 6) “Hagan uso de las TIC para generar mayor conectividad entre los actores a nivel nacional e internacional” (p.71); 7) “Generar investigación básica para cubrir vacíos detectados en la cadena de valor del conocimiento” (p.71); y 8) “Focalizar los esfuerzos y los recursos para evitar la atomización de iniciativas y apuestas” (p.73).

Finalmente, el documento hace énfasis en que, “la mayor parte de las recomendaciones derivadas de este análisis dependen en gran medida de que Colombia disponga de un modelo de integración con las diferentes regiones y departamentos” (p.73). Esta lógica debe así mismo, replicarse a nivel internacional. Otra recomendación se relaciona con, “mejorar las capacidades en lo que se considera prioritario para el Departamento” (p.73); y “unificar esfuerzos para que los científicos e investigadores participen en grandes estrategias científicas y tecnológicas” (p.73).

A manera de conclusión, la información descrita evidencia variables críticas de carácter general, que incidirían en la calidad del sistema educativo, y que deben tenerse en cuenta en el proceso de construcción de la estrategia de formación capital humano del Departamento de Caldas.

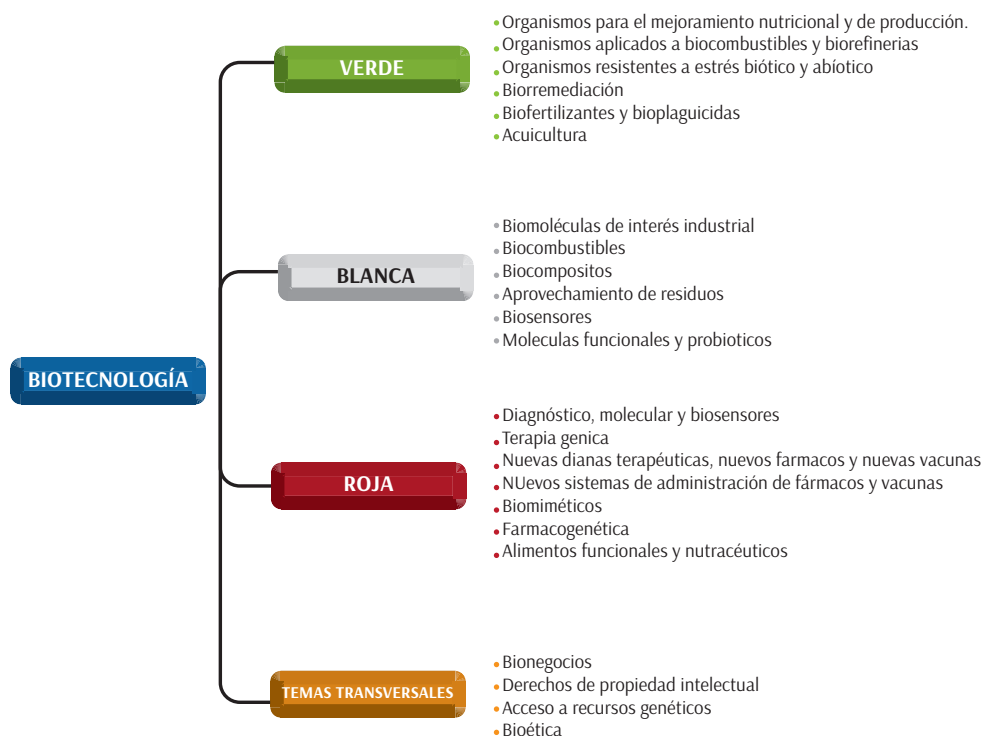
1.4 Estudio prospectivo de la biotecnología en Colombia-Universidad Nacional de Colombia

Desde 1993 la Universidad Nacional inició el proceso de focalización de los esfuerzos institucionales para definir lineamientos para investigación en torno a la biotecnología. El objetivo principal era promover la cooperación entre sedes y facultades para trabajar sobre

los problemas nacionales. Sin embargo, para ese entonces no existía una prioridad clara en relación con la biotecnología. Tampoco, información suficiente útil para argumentar el proceso de selección de áreas de trabajo para orientar esfuerzos. Esta situación obstaculizó la institucionalización de áreas de trabajo en biotecnología en torno a las cuales, concentrar los esfuerzos y los recursos (UNAL, 2012). Por otro lado, se identificó la necesidad de articular las agendas de investigación de diferentes áreas del conocimiento sobre la biotecnología. “En el conjunto de agendas identificadas para este propósito se encuentran las siguientes: recursos marinos, estudios ambientales, recursos genéticos, innovación agroalimentaria, innovación agroindustrial, biología molecular y celular, ciencias médicas y bioquímica (UNAL, 2012, p.33)

Para atender la necesidad de focalización de esfuerzos y recursos la Agenda de Biotecnología desarrolla una propuesta inicial de temáticas. La selección de las mismas se realizó con la participación de expertos con base en una revisión del panorama nacional e internacional de tendencias, y la revisión de las capacidades de investigación de la universidad y el potencial que tienen para dar respuesta a problemas nacionales.

Ilustración 1. Temáticas de trabajo identificadas como estratégicas para la Universidad Nacional.



Fuente: Plan Global de Desarrollo 2010-2012, Prospectiva UN-Agendas de Conocimiento, Agenda de Biotecnología. Vicerrectoría de Investigaciones (Universidad Nacional de Colombia, 2012, p.49-51)

Así mismo, en las proyecciones de investigación y extensión realizadas por el estudio para los próximos años y hasta el 2030 en Colombia, y para cada uno de los tipos de biotecnología², se encuentran las siguientes aplicaciones:

Ilustración 2. Proyecciones de investigación y extensión por tipos de biotecnología y campos de aplicación.



Fuente: elaboración propia con base en información de la Agenda de biotecnología-2012

En relación con la planeación estratégica para desarrollar la biotecnología desde el ámbito académico, se hace alusión a la necesidad de estructurar planes prospectivos a mediano y largo plazo que además, busquen articular el futuro del país en un mundo globalizado (p.14). Para ello, se sugiere realizar ejercicios de vigilancia científica y tecnológica, así como, prospectiva a partir de los cuales, formular la planeación estratégica manteniendo un pensamiento de largo plazo (p.17). De cara a este ideal, el documento identifica que las

² **Biotecnología roja:** incluye investigación y desarrollos biotecnológicos con aplicación al campo de la salud, medicina y diagnóstico médico; **Biotecnología amarilla:** enfocada en temas nutricionales, producción de alimentos funcionales y efectos benéficos en la salud humana; **Biotecnología verde:** incluye investigación y desarrollos biotecnológicos con aplicación en el sector agrícola. Incluye la creación de nuevas variedades de plantas de interés agrícola, la producción de biofertilizantes y biopesticidas; la producción de variedades de plantas modificadas, o transgénicos. Esta tecnología incluye en sus objetivos el desarrollo de plantas resistentes a enfermedades; el uso de plantas transgénicas con mayores niveles nutricionales; la producción de variedades de plantas que actúen como bio-fábricas; para la producción de sustancias médicas, o de interés industrial; **Biotecnología blanca:** comprende toda la biotecnología desarrollada para uso en procesos industriales. En los objetivos de esta tecnología se encuentra el diseño de procesos y productos de bajo consumo de recursos, hacerlos más eficientes en términos energéticos y menos contaminantes en comparación con los tradicionales. Incluye el uso de microorganismos en la producción de químicos, el diseño y la producción de nuevos materiales de uso común (plásticos, telas, etc.) y el desarrollo de nuevas fuentes de energía sostenible como los biocombustibles; **Biotecnología gris:** incluye todas las aplicaciones de la biotecnología directamente relacionadas con el medio ambiente. La aplicación de esta tecnología comprende dos ramas: el mantenimiento de la biodiversidad y la remoción de contaminantes. En relación con esta primera se busca la conservación de especies y el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de genomas. Respecto a la segunda, desarrollar procesos de biorremediación usando microorganismos y plantas para aislar o remover diferentes sustancias como metales pesados, hidrocarburos, entre otros.

proyecciones temporales de la institución corresponden a periodos fijos y de muy corta duración. Otros aspectos considerados como necesarios en el proceso de formulación de la planeación estratégica, se relacionan con la necesidad de incluir en mayor medida a la sociedad externa a la institución, y de dar una orientación que busque construir conocimiento con pertinencia nacional y proyección internacional.

El ejercicio de análisis DOFA de la Agenda de Biotecnología, condensa los principales factores inhibidores y potenciadores³ para promover el desarrollo de la biotecnología desde el ámbito académico.

Otros posibles factores inhibidores están asociados con: 1) Problemas de articulación a nivel nacional; 2) Carencia de programas en bionegocios (formación empresarial relacionada con la biotecnología); 3) Precaria experiencia en el desarrollo de proyectos con empresarios; y 4) insuficiente experiencia en procesos de transferencia tecnológica.

Tabla 1. Potenciadores e inhibidores correspondientes a la Agenda de 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.
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: Plan Global de Desarrollo 2010-2012, Prospectiva UN-Agendas de Conocimiento, Agenda de Biotecnología. Vicerrectoría de Investigaciones (Universidad Nacional de Colombia, 2012, p.49-50)

³Potenciador: situación que incide de forma positiva en el cumplimiento de las metas propuestas en la agenda.
 Inhibidor: situación que va en detrimento de cumplir las metas de la agenda.

Con base en el diagnóstico construido, la Agenda en Biotecnología formula objetivos específicos orientados a fomentar el desarrollo de la biotecnología desde el ámbito universitario, siendo estos:

- Proponer ejes temáticos para la UN en biotecnología.
- Potenciar capacidades de investigación y extensión (infraestructura y personal) en biotecnología.
- Responder a través de la biotecnología a las necesidades del medio social.
- 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.
- Incluir asuntos de bioética, acceso a recursos genéticos, derechos de propiedad intelectual, bionegocios y otros (valoración de intangibles, negociación y distribución de beneficios asociados a contribución de recursos genéticos).
- Apoyar la formación de masa crítica (abogados, negociación, bioética, negocios, desarrollo social, medio ambiente y *policy makers*).
- Construir redes estratégicas de conocimiento con actores nacionales e internacionales.
- Facilitar la búsqueda de financiación.
- Institucionalizar la participación de los profesores en empresas de base tecnológica.

Las metas asociadas a estos objetivos se relacionan en términos generales con:

- Financiación de proyectos (convocatorias).
- Estructurar proyectos con gremios empresariales y de la industria.
- Institucionalizar una red nacional con proyección internacional en biotecnología.
- Generar *spin-off* basado en conocimiento y tecnología propia.
- Capacitación sobre acceso a recursos genéticos (involucrar conocimiento tradicional).
- Convocatorias de movilidad internacional.
- Institucionalizar la cofinanciación de recursos frescos para proyectos de biotecnología.

Las siguientes, fueron las conclusiones principales encontradas al realizar una búsqueda del estado del arte y de las directrices gubernamentales en torno a la educación y formación de capital humano para fortalecer la ciencia, la tecnología y la innovación. Así como, de los esfuerzos gubernamentales llevados a cabo hasta la fecha con el objetivo de promover el desarrollo del sector biotecnológico y finalmente, de las capacidades y áreas con potencial de trabajo relacionadas con esta tecnología en el departamento de Caldas.

1.5 Conclusiones

Los documentos de política pública y de diagnóstico del sector biotecnológico contruidos con el objetivo de fortalecer su desarrollo en Colombia, no abordan en profundidad los requerimientos de capital humano, así como tampoco una estrategia de fomento del mismo. No obstante, es posible identificar algunos requerimientos referentes a éste tipo de capital y directrices para un sistema educativo que favorezca su desarrollo. Al respecto, destacan la necesidad de contar con expertos formados y con experiencia específica en vigilancia tecnológica, gestión del conocimiento, transferencia de tecnología, incubación y aceleración de empresas, valoración de intangibles, comercialización de tecnología y penetración de mercados internacionales, con bienes y servicios de base biotecnológica. Para ello, adquiere importancia la formación en conocimientos y competencias interdisciplinarias y el fomento de la investigación aplicada, orientada a abordar problemas específicos. De igual modo, para mejorar la calidad del sistema educativo y su capacidad de impacto, el fortalecer la relación con el sector productivo, las dinámicas de internacionalización, las redes de trabajo colaborativo, así como, la focalización de recursos y esfuerzos en áreas de trabajo que se identifiquen como estratégicas, con base en las necesidades nacionales y las oportunidades de mercado a nivel internacional.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DE BIOTECNOLOGÍA, BIOINFORMÁTICA, BIOLOGÍA COMPUTACIONAL Y COMPUTACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Para la identificación del potencial a nivel nacional y regional, se realizó un levantamiento de información de las capacidades respecto al capital humano el cual hace referencia a los actores (personal docente, estudiantes y grupos de investigación) vinculados con la investigación tanto en el país como en la región de Caldas. El capital estructural tiene que ver con la infraestructura necesaria para que el capital humano realice sus actividades de investigación; incluye laboratorio, capital tecnológico, programas curriculares, proyectos de investigación, métodos, procedimientos. El capital relacional se define como las relaciones entre universidades-empresas-Estado. Este presenta los lazos construidos con otras instituciones nacionales e internacionales, como resultado de los procesos de investigación o extensión.

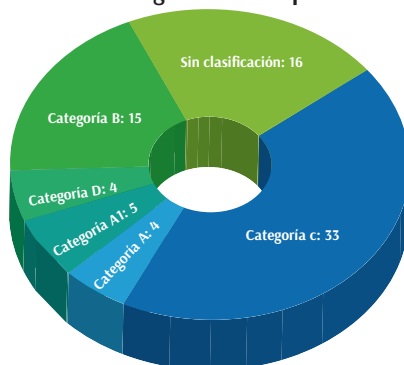
A continuación se detallan las capacidades a nivel de capital humano de índole nacional.

2.1 Caracterización de los grupos de investigación en biotecnología, bioinformática y biología computacional

La información registrada en el GroupLAC de Colciencias, evidencia que la mayoría de los grupos de investigación en biotecnología en Colombia corresponden a la categoría C. Lo que sugiere que esta corresponde a un área de investigación en pleno desarrollo e interés para Colombia.

Ilustración 3. Clasificación de los grupos de investigación en biotecnología en el GroupLAC

Clasificación de los grupos de investigación en biotecnología en el GroupLAC

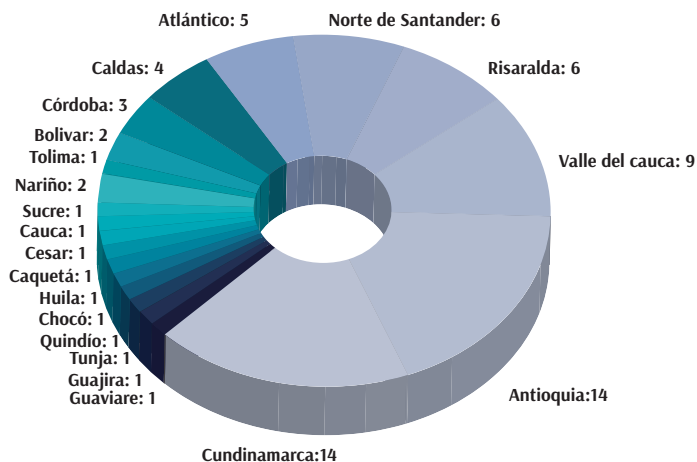


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

La información de la **Ilustración 4**. Sugiere que en Colombia existe una notoria concentración geográfica de los grupos de investigación en biotecnología, así como, asimetría entre las diferentes regiones. La mayor parte de estos se concentran en el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá.

Ilustración 4. Número de grupos de investigación en biotecnología por departamento

Número de grupos de investigación en biotecnología por departamento



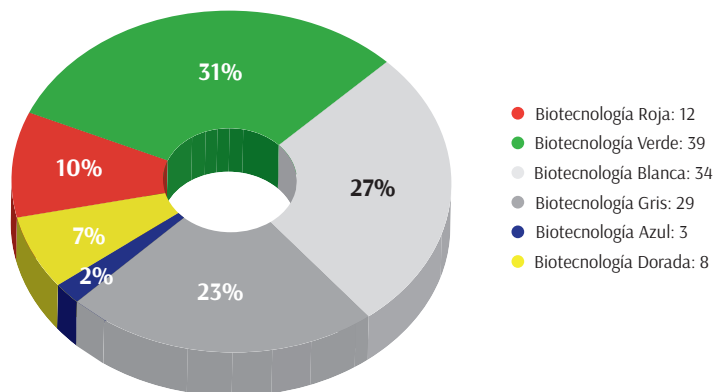
Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

Los datos recopilados con base en las líneas de investigación registradas ante Colciencias (ver **Ilustración 5**), sugieren que en Colombia el 31% de grupos de investigación trabajan sobre la biotecnología verde, es decir, en el desarrollo de investigaciones aplicadas al sector agrícola. En segunda instancia; un 27% en investigación para la producción de insumos y procesos biotecnológicos con aplicación en las industrias. En tercer lugar; un 27% en aplicaciones para el medio ambiente, en temas de remoción de contaminantes a través de procesos de biorremediación y con menor vocación, para la conservación de especies. Sólo el 10% de los grupos evidencian que trabajan en torno al desarrollo de aplicaciones para el sector de la salud, un 7% en uso de herramientas computacionales para el análisis de datos biológicos y genéticos. Finalmente, un 2% en biotecnología a partir de recursos marinos⁴.

⁴ La sumatoria de grupos de investigación según los diferentes tipos de biotecnología supera el total de 77 grupos identificados que trabajan en torno a la biotecnología en el país, en razón de que la mayor parte de estos trabajan de forma simultánea en más de un tipo de biotecnología.

Ilustración 5. Clasificación de los grupos de investigación de biotecnología por tipos de biotecnologías en las que trabajan

Clasificación de los grupos de investigación por tipos de biotecnologías en las que trabajan

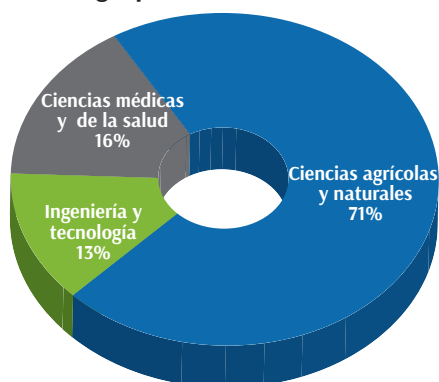


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

La mayor parte de los grupos de investigación en biotecnología (Ver .), se concentran por área de conocimiento en la categoría de las ciencias naturales, y en menor medida en las ciencias médicas y de la salud, así como, en ingeniería y tecnología y ciencias agrícolas.

Ilustración 6. Distribución de los grupos de investigación en biotecnología por área de conocimiento

Distribución de los grupos de investigación en biotecnología por área de conocimiento

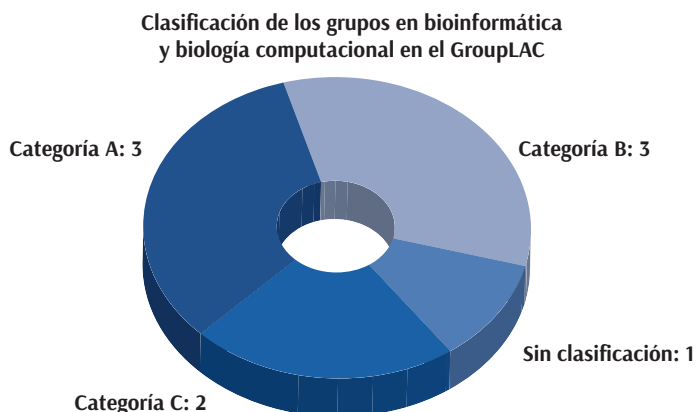


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

El número de grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia, es relativamente pequeño con un total de nueve (ver **Ilustración 7.**). De estos,

la mayoría han sido clasificados en las categorías A y B evidenciando una producción académica alta en estas áreas del conocimiento, no obstante ser un área de trabajo emergente y con unos focos de desarrollo puntuales en el país.

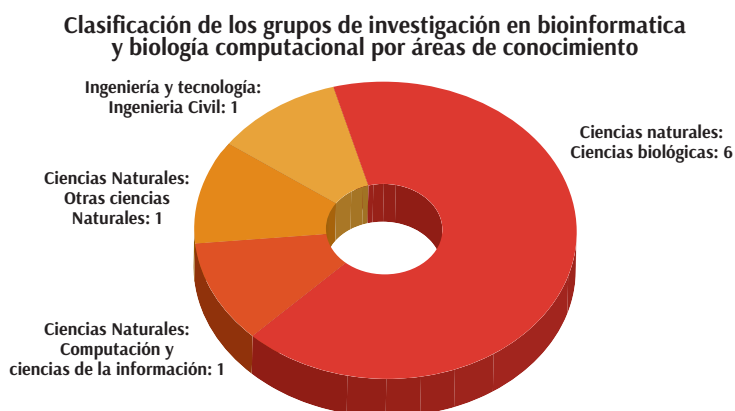
Ilustración 7. Clasificación de los grupos en bioinformática y biología computacional en el GroupLAC



Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

La mayor parte de los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia se clasifican por área de conocimiento en la categoría de ciencias naturales (ver **Ilustración 8.**). Estas pertenecen principalmente a las ciencias biológicas, y en menor medida a las ciencias de la computación y de la información, así como, a otras ciencias naturales. En una menor proporción y con apenas un grupo de investigación de encuentra la categoría de ingeniería y tecnología: ingeniería civil ⁵.

Ilustración 8. Clasificación de los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional por áreas de conocimiento

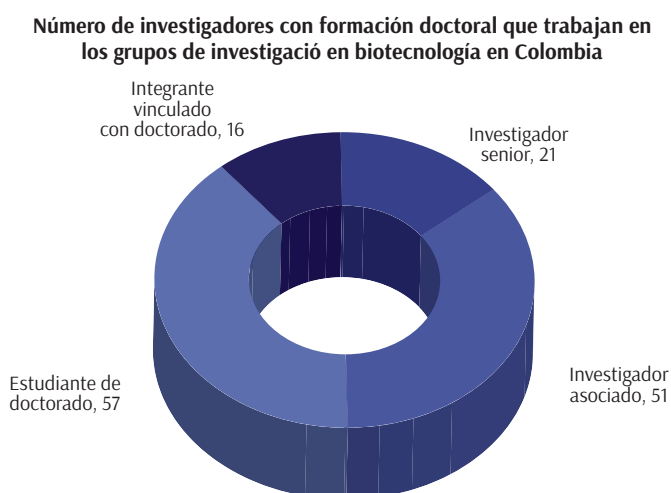


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

⁵ El grupo de investigación denominado "Sistemas Inteligentes y Bioinformática", perteneciente a la Universidad del Tolima, se encuentra en esta clasificación de acuerdo con la información de registro del GroupLAC.

En Colombia sobre la biotecnología y de acuerdo con la categorización de los investigadores por parte de Colciencias, para el 2015 se tiene un registro de 145 investigadores con formación doctoral. De estos, el 39% son estudiantes de doctorado⁶; un 35% investigadores asociados⁷ que pueden tener formación doctoral o de maestría; un 11% integrantes vinculados con doctorado⁸ y un 14% investigadores senior con formación doctoral⁹. En conclusión, el 49% son investigadores, el 45% son investigadores en proceso de formación y el 11% son integrantes vinculados. Frente al total de investigadores que trabajan en torno a la biotecnología y que cuentan con formación doctoral en el país, el 10% se encuentran en el departamento de Caldas (ver **Ilustración 10.**)

Ilustración 9. Número de investigadores con formación doctoral que trabajan en los grupos de investigación en biotecnología en Colombia



Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

⁶ Estudiante de doctorado: en formación de doctorado iniciada máximo hace ocho años.

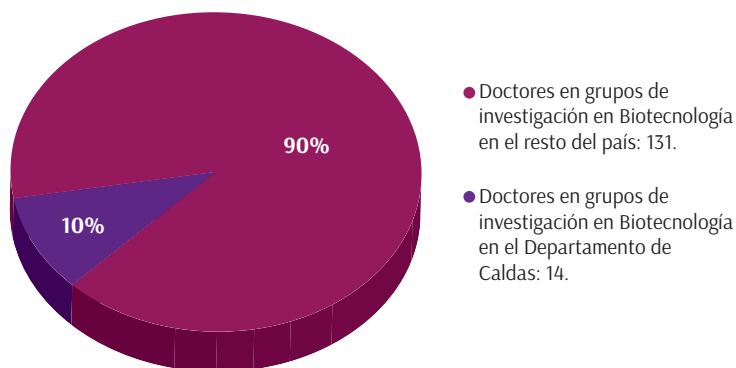
⁷ Investigadores asociados: nivel de formación doctorado, maestría o especialidad clínica finalizada o (7) productos de nuevo conocimiento o de resultado de actividades de desarrollo tecnológico en toda su trayectoria académica. Producción mínima: (2) productos de nuevo conocimiento o resultado de actividades tipo A.

⁸ Integrantes vinculados con doctorado: vinculado a un grupo de investigación y que no cumple con ninguna de las anteriores definiciones; con formación de doctorado culminada.

⁹ Investigadores senior: nivel de formación: doctorado finalizado o (15) productos de nuevo conocimiento o de resultado de actividades de desarrollo tecnológico e innovación tipo A en toda su trayectoria académica. Producción mínima de diez productos tipo Top o tipo A en los últimos (10) años.

Ilustración 10. Proporción de investigadores con formación doctoral que trabajan en biotecnología en el Departamento de Caldas

Proporción de investigadores con formación doctoral que trabajan en biotecnología en el Departamento de Caldas

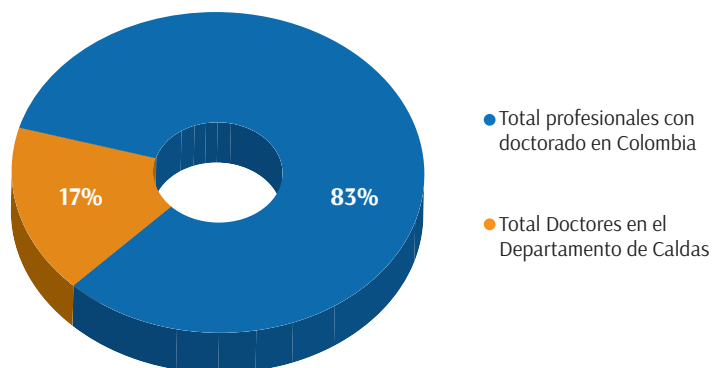


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

Al caracterizar el capital humano del departamento de Caldas de acuerdo con las áreas de trabajo a las que se dedican, se detectan fortalezas para realizar investigación en torno a las ciencias naturales y agropecuarias. En segundo lugar, en temas de hábitat, ciudad y territorio. Finalmente, en ingeniería e industria. Con relación a la biotecnología, el Departamento de Caldas cuenta con capacidades intermedias, si se tiene en cuenta el total de 145 investigadores en biotecnología a nivel nacional y un total de 20 doctores que para el año 2015 trabajaban en torno a la misma (**ver Ilustración 11.**).

Ilustración 11. Total profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia y el departamento de Caldas

Total profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia y el Departamento de Caldas

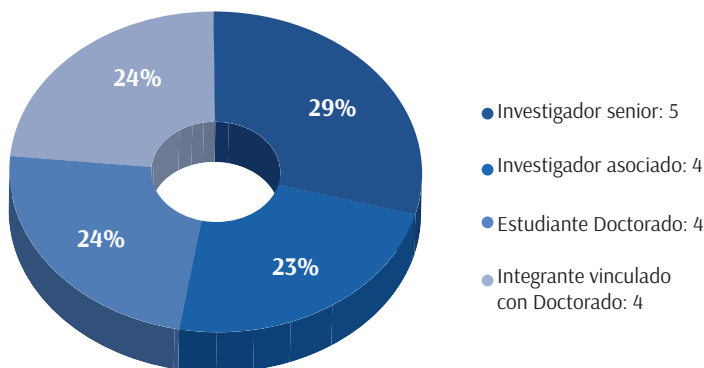


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

En el país la composición de los grupos de investigación que trabajan en biotecnología, evidencian un predominio de profesionales en proceso de formación doctoral con una participación del 50%. En segundo lugar, se destaca la participación de investigadores asociados y finalmente, por los investigadores *senior* e integrantes vinculados con doctorado.

Ilustración 12. Número de profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia

Número de profesionales con formación doctoral en los grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia

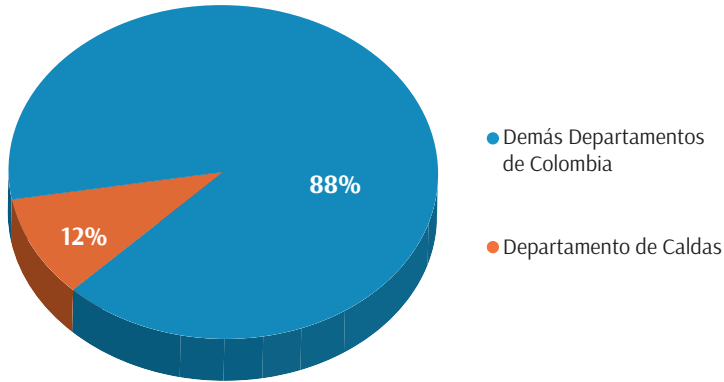


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

En el departamento de Caldas se encuentran diez de los setenta y tres grupos de investigación en biotecnología registrados ante Colciencias para el 2015 (ver **Ilustración 13.**) *Participación porcentual de grupos de investigación en biotecnología del Departamento de Caldas sobre total nacional*). El número de grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia, es relativamente pequeño con apenas un total de diez, de los cuales, uno se encuentra en el este departamento, ejecutando sus actividades en el Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia (ver **Ilustración 14.**). Para el año 2015, el grupo de investigación tiene clasificación C según Colciencias. En términos de capital humano cuenta con un investigador senior, un estudiante de doctorado y un integrante vinculado con doctorado. A su disposición cuenta con el capital tecnológico del supercomputador con mayor capacidad de almacenamiento del país, y el único muro de visualización científica de Colombia. De acuerdo con los registros de Colciencias para el año 2015, del total de los 18 investigadores con formación doctoral que trabajan en bioinformática y biología computacional en Colombia, cinco se encuentran en el departamento de Caldas.

Ilustración 13. Participación porcentual de grupos de investigación en biotecnología del Departamento de Caldas sobre total nacional

Participación porcentual de grupos de investigación en biotecnología del Departamento de Caldas sobre total Nacional

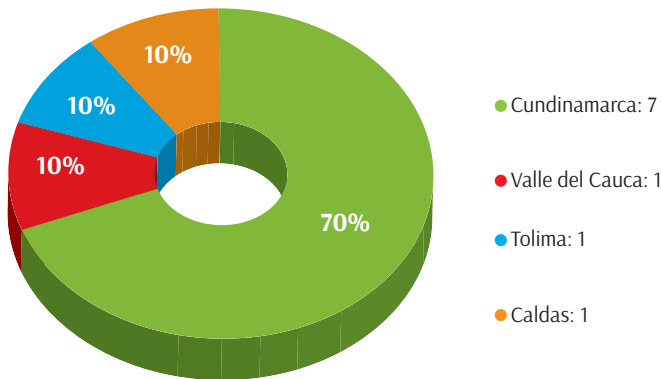


Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

En Colombia existen un total de diez grupos de investigación en bioinformática y biología computacional. De estos, la mayor parte con un número de siete se ubica en el departamento de Cundinamarca (Ver **Ilustración 14.**).

Ilustración 14. Número de grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia por Departamentos

Número de grupos de investigación en bioinformática y biología computacional en Colombia por Departamentos



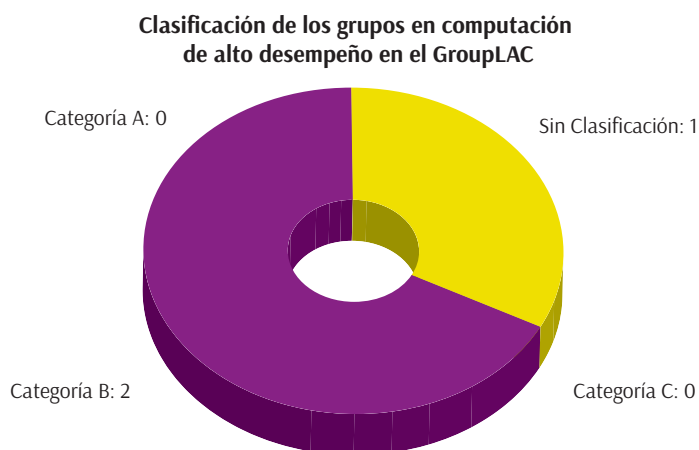
Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

2.2 Caracterización de los grupos de investigación en computación de alto desempeño en Colombia

El número de grupos de investigación en computación de alto desempeño es aún incipiente, con apenas un total de tres en relación con la categorización de los mismos por Colciencias,

el primero en mención cuenta con reconocimiento ante Colciencias, sin embargo, carece de clasificación; los dos siguientes corresponden a grupos tipo B (ver **Ilustración 15.**). Respecto a la clasificación de los grupos de investigación en computación de alto desempeño de acuerdo con las áreas de conocimiento, estos corresponden principalmente a las matemáticas y, en segundo lugar, a la clasificación de las ciencias naturales. (ver **Ilustración 16.**). Estos se encuentran ubicados en el departamento de Norte de Santander, en la universidad Industrial de Santander, en Bogotá en la universidad de los Andes y en la ciudad de Pereira en la universidad Tecnológica de Pereira (ver **Ilustración 17.**).

Ilustración 15. Clasificación de los grupos en computación de alto desempeño según el GroupLAC



Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

Ilustración 16. Clasificación de grupos de investigación en computación de alto desempeño por áreas de conocimiento



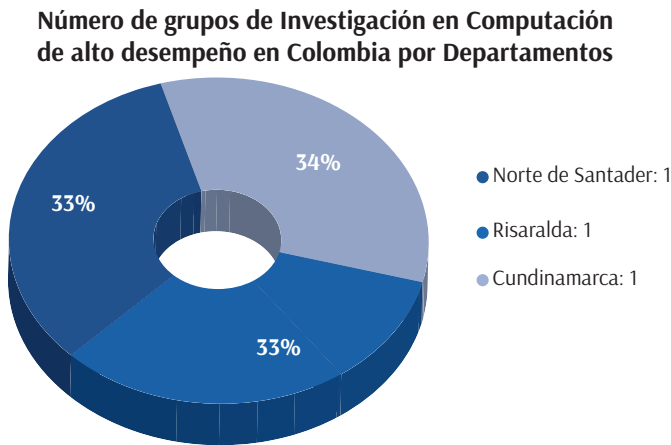
Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015

2.3 Capacidades de los laboratorios en biotecnología, bioinformática y biología computacional

2.3.1 Capacidades de capital humano.

Una muestra de laboratorios que trabaja en biotecnología en Colombia, refleja que el perfil de capital humano que predomina en estos para actividades de I+D, son magísteres, con un total de 208 profesionales. En segundo lugar, se encuentran investigadores con formación doctoral con un total de 147 personas, y, en tercer lugar, con formación de pregrado con un total de 132. Los resultados no reflejan investigadores con estudios posdoctorales (ver **Ilustración 17.**)

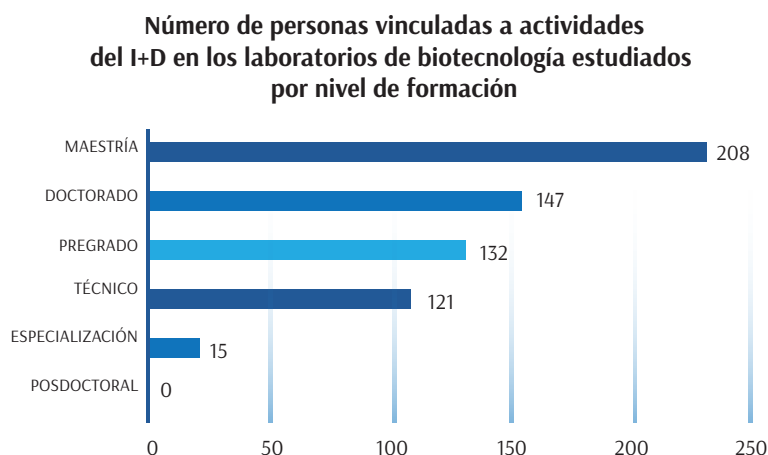
Ilustración 17. Número de grupos de investigación en computación de alto desempeño en Colombia por Departamentos



Fuente: elaboración propia con base en información registrada en Colciencias-2015.

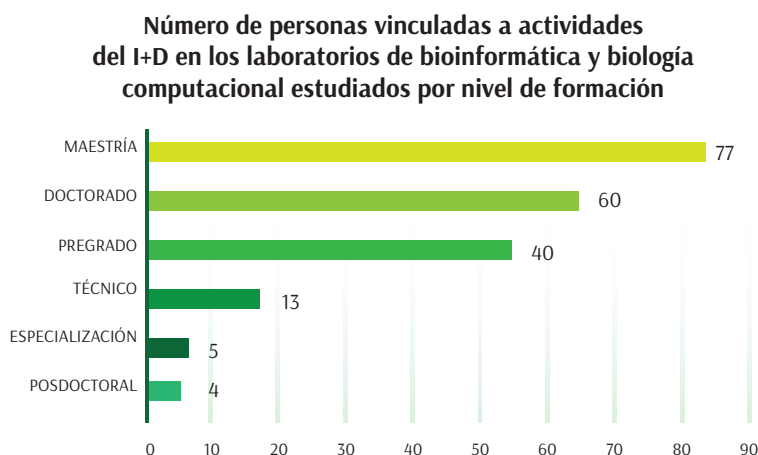
Por otro lado, la muestra estudiada de laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional, evidencia de igual modo que predominan los investigadores con formación de nivel de maestría con un total de 77 personas. En segundo lugar, investigadores con formación de pregrado con un total de 60 profesionales. Y en tercer puesto, con formación doctoral con un total de 40 personas. En estos laboratorios, los investigadores con estudios posdoctorales son los más escasos. (ver **Ilustración 18. y 19.**)

Ilustración 18. Número de personas vinculadas a actividades de I+D en laboratorios de biotecnología estudiados por nivel de formación



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Ilustración 19. Número de personas vinculadas a actividades de I+D en los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados por nivel de formación



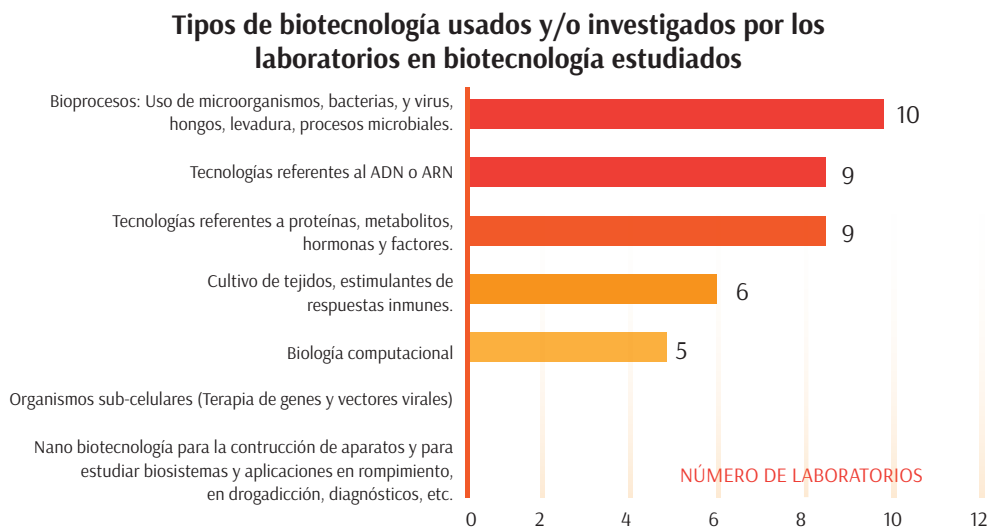
Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.3.2 Capacidades institucionales.

En primer lugar, respecto a las capacidades institucionales, se detecta que la mayoría de los laboratorios trabajan investigando más de un tipo de biotecnología. Sin embargo, el más trabajado e investigado en éste tipo de laboratorios a nivel nacional corresponde al de

bioprocesos, haciendo uso de microorganismos, bacterias, virus, levaduras y hongos. En segundo lugar, en tecnología referentes al ADN o ARN; y en tercer puesto, en tecnologías referentes a proteínas, metabolitos, hormonas y factores de crecimiento. No se detectó que los laboratorios estudiados trabajen en terapia de genes y tampoco en nanobiotecnología (ver **Ilustración 20**).

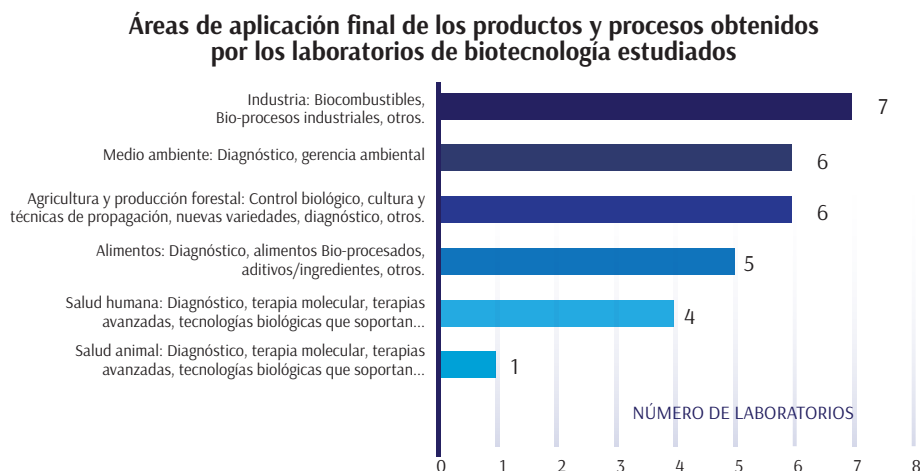
Ilustración 20. Tipos de biotecnología usados y/o investigados por los laboratorios en biotecnología estudiados



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

En las áreas de aplicación final de las investigaciones que realizan los laboratorios de biotecnología estudiados, se destacan primero las aplicaciones industriales, con el desarrollo de biocombustibles y bioprocesos. Segundo, los trabajos con aplicaciones biotecnológicas para el medio ambiente. Y tercero, para el sector agrícola, incluyendo el desarrollo de nuevas variedades, mecanismos de control biológico, entre otros. Las áreas de aplicación con menor trabajo en estos laboratorios son la de salud humana y animal (ver **Ilustración 21**).

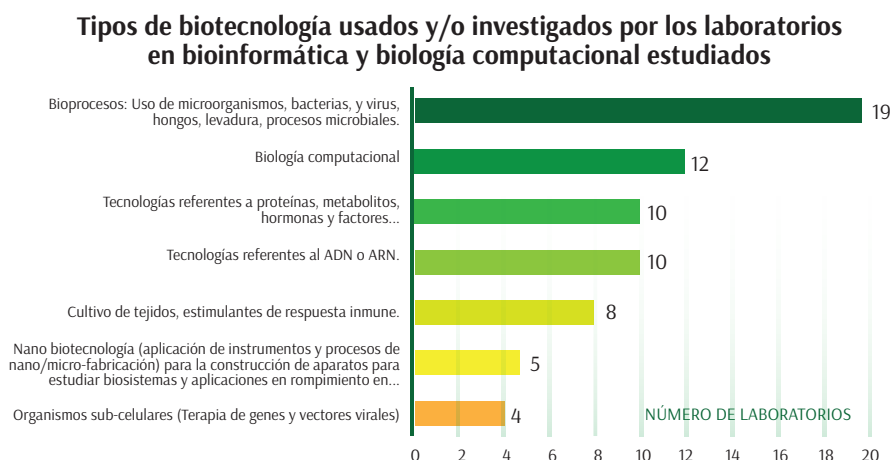
Ilustración 21. Áreas de aplicación final de los productos y procesos obtenidos por los laboratorios de biotecnología estudiados



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de biotecnología a nivel nacional.

Por otro lado, los laboratorios en bioinformática y biología computacional coinciden en hacer en primer lugar, uso e investigación relacionada con bioprocesos de microorganismos, bacterias, virus, hongos, levaduras y procesos microbiales. En segundo lugar, en bioinformática y biología computacional. Y en tercero, en tecnologías referentes a proteínas, metabolitos, hormonas y factores de crecimiento (ver **Ilustración 22**).

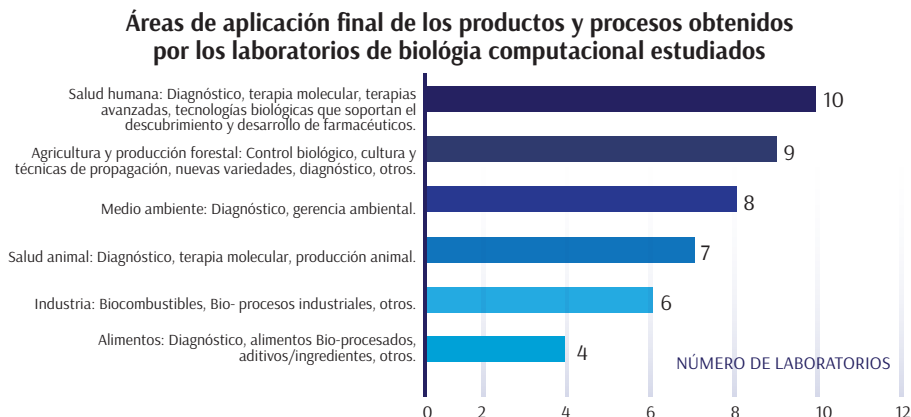
Ilustración 22. Tipos de biotecnología usados y/o investigados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Estos mismos laboratorios realizan investigaciones cuyas áreas de aplicación final son principalmente para salud humana, agricultura y producción forestal (incluyendo temas de control biológico, nuevas variedades y diagnóstico); así como en medio ambiente (Ver **Ilustración 23**).

Ilustración 23. Áreas de aplicación final de los productos y procesos obtenidos por los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados

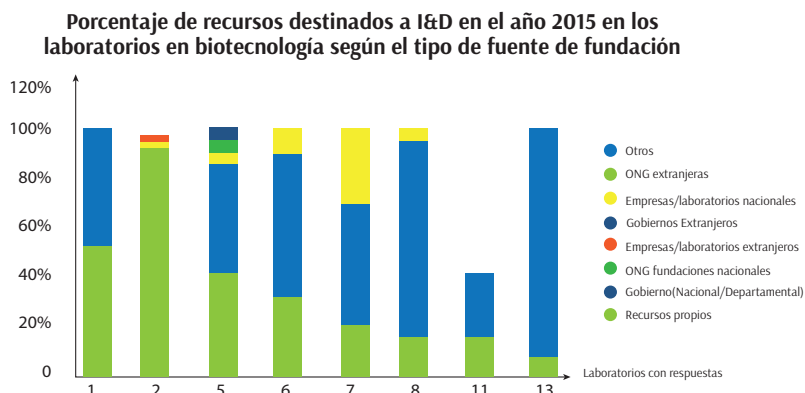


Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.3.2.1 Fuentes de recursos para actividades de I&D.

Los resultados obtenidos sugieren que las principales fuentes de financiación para actividades de I&D de los laboratorios de biotecnología estudiados, es el gobierno. En segundo lugar, los recursos propios, situación que es más evidente para los laboratorios que pertenecen a universidades. La obtención de recursos financieros a partir de empresas y laboratorios nacionales es aún incipiente. Más escasos aún son los recursos obtenidos a través de fuentes de financiación extranjeras (ver **Ilustración 24**).

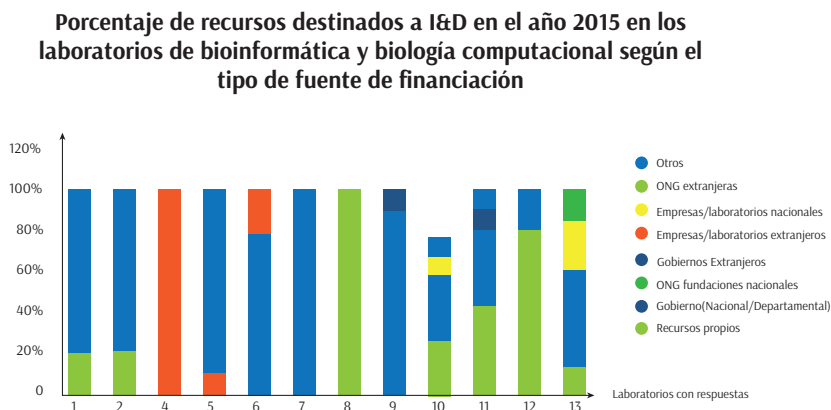
Ilustración 24. Porcentaje de recursos destinados a I&D en el año 2015 en los laboratorios en biotecnología según el tipo de fuente de financiación



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Éste mismo análisis de procedencia de los recursos destinados a I&D para los laboratorios de bioinformática y biología computacional, refleja de igual modo, la preponderancia de los recursos gubernamentales. En segundo lugar, de los recursos propios. En tercera instancia, fuentes de diferentes tipos como empresas y laboratorios nacionales y extranjeros, gobiernos extranjeros, y otras fuentes, como la banca internacional, que tienen un menor peso (ver **Ilustración 25**).

Ilustración 25. Porcentaje de recursos destinados a I&D en el año 2015 en los laboratorios de bioinformática y biología computacional según el tipo de fuente de financiación

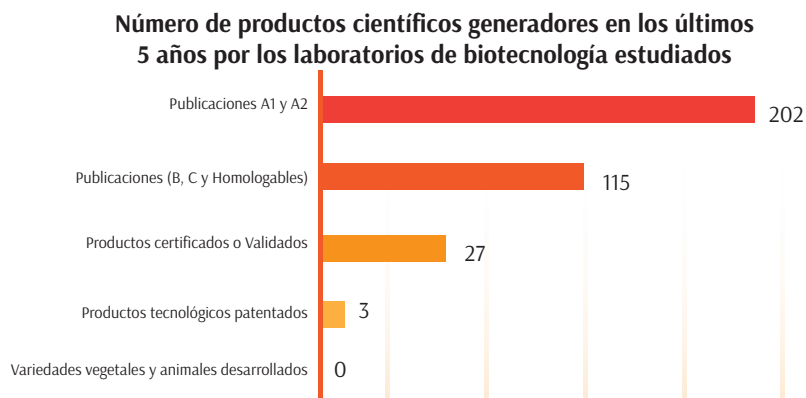


Fuente: Elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.3.3 Capacidades de transferencia tecnológica.

Al evaluar las capacidades de transferencia tecnológica de los laboratorios de biotecnología se evidencia, por un lado, que la mayor parte de la producción científica de éstos, se concentra en la escritura de publicaciones académicas, principalmente de tipo A1 y A2, y en una menor proporción de tipo B, C y homologables. El desarrollo de productos certificados o validados se genera en una menor cantidad. Por otro lado, el número de productos tecnológicos patentados es escaso, y el desarrollo de variedades vegetales y animales nulo para la muestra de laboratorios trabajada. Finalmente, la aplicación a procesos de concesión de patentes u otros mecanismos de propiedad intelectual para proteger investigaciones o desarrollos, es incipiente. Durante los años 2014 y 2015 sólo un 33% de los laboratorios aplicaron a procedimientos de éste tipo (ver **Ilustración 26**).

Ilustración 26. Número de productos científicos generados en los últimos 5 años por los laboratorios de biotecnología estudiados

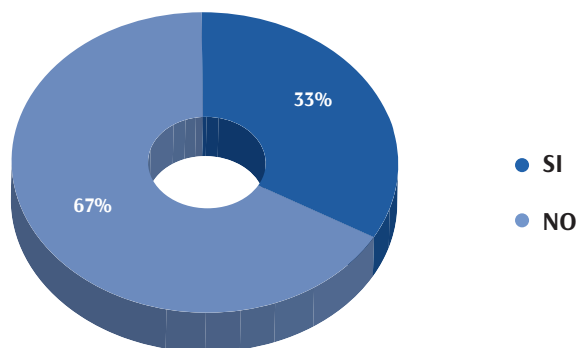


Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

En los laboratorios en bioinformática y biología computacional, se mantiene como mayor tipo de producción científica la publicación de documentos académicos, tanto de tipo A1 y A2, y en menor cantidad de tipo de B, C y homologables. En éstos, es igualmente escasa la producción de productos certificados o validados, y en menor medida la de los productos tecnológicos patentados. Así mismo, el desarrollo de variedades vegetales y animales es nulo, para la muestra estudiada de laboratorios. En general, durante los años 2014 y 2015 sólo el 31% de estos laboratorios aplicó a procesos de concesión de patentes u otro tipo de mecanismos de propiedad intelectual (ver **Ilustración 27, 28 y 29**).

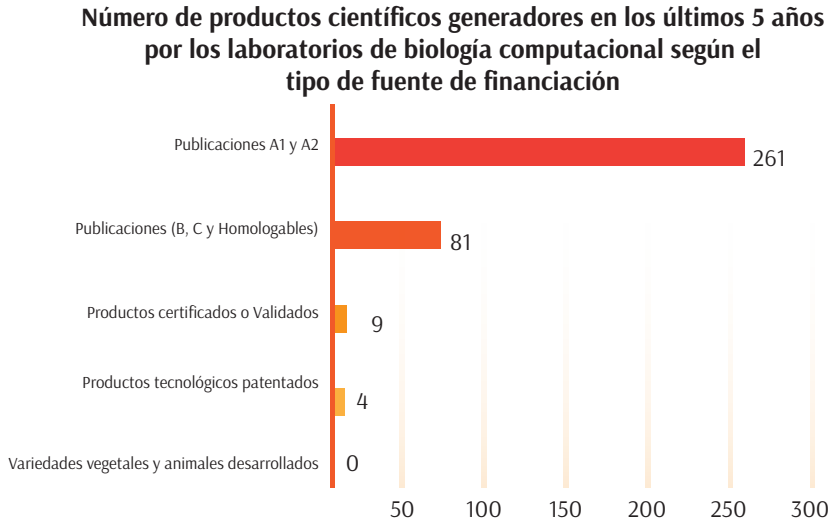
Ilustración 27. Laboratorios de biotecnología que durante los años 2014-2015 aplicaron a procesos de concesión de patentes u otro mecanismo de propiedad intelectual para proteger investigaciones o desarrollos

Laboratorios de biotecnología que durante los años 2014 y 2015 aplicaron a procesos de concesión de patentes u otro mecanismo de propiedad intelectual para proteger investigaciones o desarrollos



Fuente: Elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

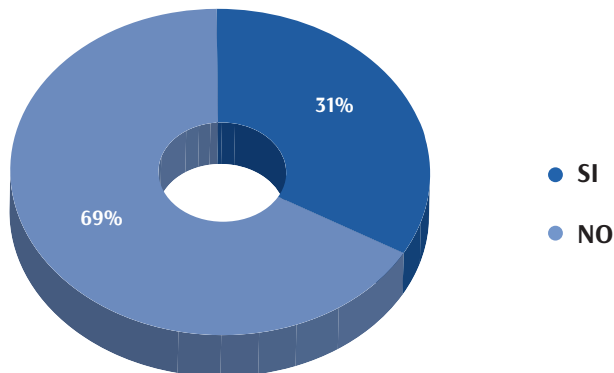
Ilustración 28. Número de productos científicos generados en los últimos 5 años por los laboratorios de bioinformática y biología computacional estudiados



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Ilustración 29. Laboratorios de bioinformática y biología computacional que durante los años 2014-2015 aplicaron a procesos de patentes u otro mecanismo de propiedad para proteger investigaciones o desarrollos

Laboratorios de bioinformática computacional que durante los años 2014 y 2015 aplicaron a procesos de concesión de patentes u otro mecanismo de propiedad intelectual para proteger investigaciones o desarrollos

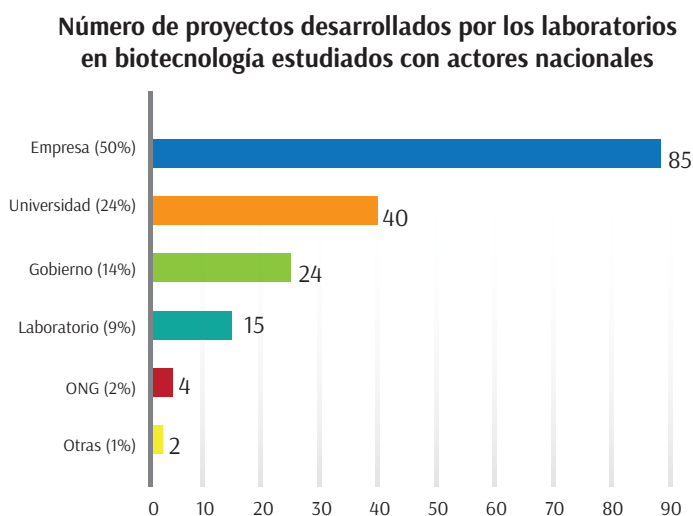


Fuente: Elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.3.4 Capacidades – Capital Relacional.

La información obtenida sugiere que los laboratorios de biotecnología se relacionan de manera principal con grupos de investigación de otras universidades en el ámbito nacional. Aunque en la gráfica No. 30 Se muestra un mayor número de proyectos desarrollados con la empresa (85), este número se debe a tres actores principales como lo son Cenipalma, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Universidad Católica de Oriente y no representa el común denominador de los proyectos desarrollados por la mayoría de los grupos de investigación en biotecnología del país (ver **Ilustración 30**).

Ilustración 30. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en biotecnología estudiados con actores nacionales



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

En general, estos laboratorios se relacionan en menor medida con actores extranjeros para el desarrollo conjunto de proyectos. Principalmente con universidades foráneas; en segundo lugar, con empresas; y en tercera instancia, con organizaciones de distinta naturaleza, diferentes a los gobiernos, los laboratorios y las ONG. En ésta última categoría se encuentra la banca internacional con organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (ver la **Ilustración 31**), que evidencia con detalle el número de proyectos desarrollados por los laboratorios de biotecnología estudiados de forma conjunta con actores internacionales y en el transcurso de los dos últimos años.

Ilustración 31. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en biotecnología estudiados con actores internacionales

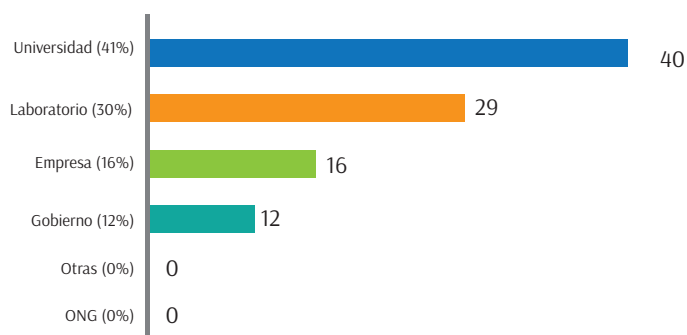


Fuente: Elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

Para ejecutar proyectos de investigación o desarrollo, los laboratorios que trabajan en bioinformática y biología computacional en primer lugar se relacionan con otras universidades del país. En segundo lugar, con otros laboratorios y en una menor magnitud con empresas nacionales (ver la **Ilustración 32**) que describe la proporción porcentual de proyectos de I&D desarrollados por algunos de los laboratorios del país que trabajan en bioinformática y biología computacional, según el tipo de actor nacional con que establecen relaciones para éste propósito

Ilustración 32. Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados con actores nacionales

Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados con actores nacionales

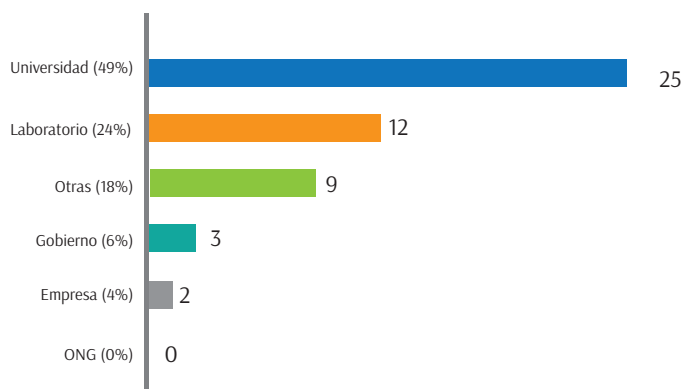


Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Estos laboratorios se relacionan en menor medida con actores internacionales para el desarrollo conjunto de proyectos de I&D. De forma principal con universidades de otros países, en segundo lugar, con laboratorios extranjeros y en tercera instancia, con entidades de otra naturaleza, entre las que se encuentran la banca internacional. La **Ilustración 33** describe la proporción porcentual de proyectos de I&D desarrollados por algunos de los laboratorios del país que trabajan en bioinformática y biología computacional, según el tipo de actor internacional con que establecen relaciones para éste propósito.

Ilustración 33. Número de proyectos desarrollados con actores internacionales por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados

Número de proyectos desarrollados por los laboratorios en bioinformática y biología computacional estudiados con actores internacionales



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.3.5 Capacidades de capital tecnológico.

La caracterización de activos tecnológicos realizada para los laboratorios de biotecnología en estudio, evidencia que en general cuentan con el capital tecnológico necesario para realizar procesos de investigación en diferentes áreas de aplicación de la biotecnología, y de análisis molecular. Sin embargo, el acceso a secuenciadores de nueva generación, así como a reactivos especializados que deben importarse, se considera una falencia generalizada. La **Tabla 2** describe en detalle el número y la proporción porcentual de laboratorios de biotecnología que cuentan con cada uno de los activos tecnológicos mencionados y una breve caracterización de éstos equipos dada por algunos de encuestados. La **Tabla 3**, las mismas variables para los laboratorios que trabajan en torno a la bioinformática y la biología computacional¹⁰. Desde la **Ilustración 34** hasta la **Ilustración 35**, se describe información proporcionada por diferentes laboratorios en relación con sus capacidades y aspiraciones de capital tecnológico.

¹⁰ Las descripciones dadas para cada uno de los tipos de activos, corresponden a respuestas individuales dadas por diferentes laboratorios. Estas no reflejan características homogéneas del total del porcentaje de laboratorios que afirmaron contar con el activo.

Tabla 2. Caracterización del capital tecnológico de los laboratorios en biotecnología en estudio

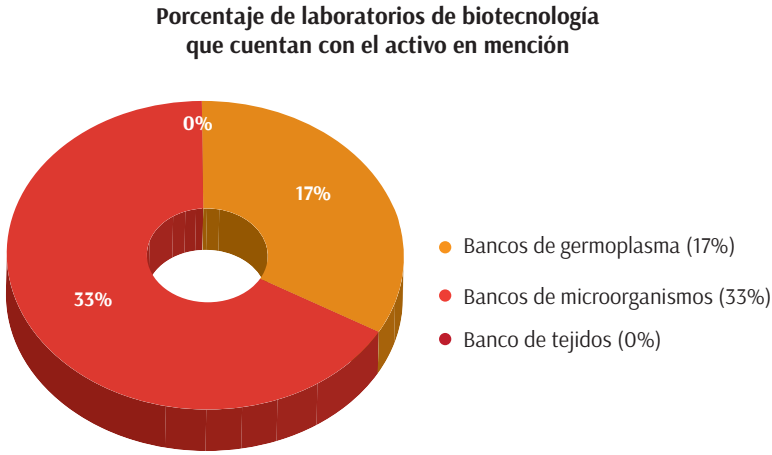
Caracterización del Capital Tecnológico de los Laboratorios de Biotecnología en Estudio			
Tipo de activo tecnológico	Número de laboratorios que cuentan con el activo	Porcentaje de laboratorios que cuentan con el activo	Algunas características mencionadas con relación a los activos de los laboratorios
Secuenciación de ADN y ARN: tipo secuenciadores (INGS, Sanger)	10	83%	x
Biología Molecular: Termocicladores, otros equipos.	11	92%	<p>Convencional y RT 3 termocicladores</p> <p>Equipo para Ingeniería Biomédica qPCR, PCR, electroforesis</p> <p>Termociclador PTC-100 y termociclador para tiempo real SmartCycle tres equipos en el laboratorio</p> <p>Los equipos se encuentran en otros laboratorios de la universidad</p> <p>Termociclado, Marca: BioRad, modelo: C1000. Cámara de electroforesis, Marca: BioRad, modelo Wide mini-sub cell. Cámara de electroforesis horizontal completo con bandeja uv transparente de 15x10 cms.</p> <p>Electroporador, Marca RioRad, Modelo: Gene Pulser X cell. Sistema de electroporación.</p> <p>Termomixer</p> <p>My Cycler Marca Biorad</p>
Cuantificación y calidad ADN, ARN: nanodrop, Quibit, equipos para correr y visualizar geles, Espectrofotómetro etc.	10	83%	<p>Nano.</p> <p>Cámaras de electroforesis verticales y horizontales. Nanodrop, bionalizador, qubit.</p> <p>Nanodrop, cámaras de electroforesis, transiluminador, espectrofotómetro, lector de ELISA, HPLC</p> <p>Nanoy Quibit.</p> <p>Documentador de geles, Marca: BioRad, Modelo: Universal HOODII.</p> <p>Sistema de documentación y análisis de geles geldoc x. Transiluminador, Marca: Wealtec, Modelo:MD-25312NM.</p> <p>Trasniluminador UV. Espectrofotómetro, Marca: Thermo Scientific, Modelo: Nicolet IS5. Equipo de apoyo diagnóstico, Marca: BioRad, Modelo: Mini Portean Tetra Cell.</p> <p>Espectrofotómetro.</p> <p>Ultravioleta visible Modelo UV- 1700 Marca Shimadzu.</p>

Análisis de proteínas: geles de acrilamida, espectrometría de masa, escáner para visualización de proteínas	10	83%	<p>Agarosa y poli geles para visualización de ADN y proteínas</p> <p>miniprotean electroforesis, espectro masas, RMN, Maldí-TOF</p> <p>Cámaras para análisis de proteínas ID y 2D</p>
Microscopía: tipos de microscopios y micrótomos	10	83%	<p>micrótopo - contraste - inmunofloresc. microscopios ópticos e invertido con analizador de imágenes.</p> <p>Cuenta con varios microscopios convencionales Confocal, fluorescencia, ópticos, estéreos</p> <p>Microscopio óptico y de fluorescencia</p> <p>Microscopía SEM en otro laboratorio de la Universidad</p> <p>Microscopio tipo revolver cuádruple, enfoque macro-micrometrico, Marca: Leica, Modelo CME.</p> <p>Descripción: Microscopio óptico/eléctrico binocular</p> <p>Microscopía Óptica</p> <p>MICROSCOPIO ESTEREOSCOPIO IO BINOCULAR MARCA TECH MODELO. MICROSCOPIO BINOCULAR CME. MARCA NIKON</p>
Cultivo de tejidos: cámaras de flujo laminar, incubadoras	10	83%	<p>Cabina flujo horizontal.</p> <p>Incubadoras y amaras de flujo</p> <p>Cuenta con 3 de flujo laminar y una de bioseguridad</p> <p>Se encuentran en varios laboratorios</p> <p>Cámaras de flujo laminar, incubadoras, bioreactores de 5, 50 y 500 L</p> <p>Se cuenta con dos cabinas de flujo de laminar y en otros laboratorios de la universidad hay muchos más</p> <p>Cámara de flujo laminar. Marca: LabCulture, Modelo LA2 - 3A2. Incubadora, Marca: Velp Científica.</p> <p>Modelo: FOC 2251.</p> <p>Una cámara de flujo laminar.</p> <p>Incubadora digital de precisión, cabinas de flujo laminar vertical y horizontal</p>

<p>General: tipo de centrifugas, tipo de refrigeradores y tipo de congeladores (con el tipo se refiere a las temperaturas), autoclave, contenedores de nitrógeno líquido y para almacenamiento criogénico, baños de agua, balanzas, batidores (shakers)</p>	<p>8</p>	<p>83%</p>	<p>Congeladores -20-70. Termos IN2. autoclaves. Una balanza analítica agitadores centrifugas Hay congelador a -80°C, a -20°C, centrifugas generales y refrigeradas, autoclaves, baños de agua y balanzas Autoclaves, N liquido, -20, -80, centrifugas refrigeradas ultracentrifugas Microcentrífuga, cava, refrigeradores, autoclaves, baños María, balanzas, balanza gravimétrica. tipo de centrifugas, tipo de refrigeradores y tipo de congeladores (con el tipo se refiere a las temperaturas, autoclave, contenedores de nitrógeno líquido y para almacenamiento criogénico. baños de agua, balanzas, balanza gravimétrica, shakers. Centrífuga tubos de 50 mL, Velocidad: Hasta 6000 rpm. Centrífuga refrigerada tubos hasta 2 mL, hasta 24 tubos, Velocidad: hasta 13500 rpm. Ultracongelador, Capacidad. 84 L, Temperatura: Hasta-80°C. Congelador, Temperatura: Hasta -20°C. Baño Agitado, Temperatura: 25°C-100°C Velocidad de agitación: 200rpm. Agitador Orbital plataforma de rotación. Velocidad: hasta 300 rpm. Balanza, Marca: Ohaus, Modelo: Adventurer, Capacidad: 310 g, Balanza digital de precisión 0,001 g. El laboratorio se encuentra equipado con todos los equipos descritos. Algunos de estos equipos están dentro del plan de reposición del laboratorio.</p>
<p>Espacios: Cuartos refrigerados, cuartos oscuros, cámaras de crecimiento, invernaderos</p>	<p>8</p>	<p>67%</p>	<p>Se cuenta con cuartos oscuros, cámaras de crecimiento, invernadero, cava, cuartos calientes para incubación a 37°C, cuarto refrigerado, temperatura: 0 - 20°C Área de crecimiento para plántulas in vitro (20m2)</p>
<p>Recursos computacionales: tipos y número de computadores, clúster, servidores, computación en la nube, en total con que memoria RAM, de almacenamiento y número de cores cuenta</p>	<p>8</p>	<p>67%</p>	<p>Se cuenta con: computadores y servidor; cluster y servidores de alto desempeño: 376 cores; 756 Gb de RAM y 10 Tb de almacenamiento; 4 computadores 1 Gb de RAM cada uno (uno para HPLC, uno para análisis de geles, uno para uso común y uno para los bioreactores), entre 190 y 500Gb de RAM cada uno, 70TB de almacenamiento; Computadores personales, computadores de mesa computación en la nube usando Dropbox personal de cada investigador</p>
<p>Software: tipos y para que análisis</p>	<p>7</p>	<p>58%</p>	<p>Se cuenta con software para: estadística y ganadería; analizador de imágenes. Entre los software se encuentran: ChemStation (HPLC), QuantityOne (geles); 3 programas estadísticos Design Expert: Diseño experimental y análisis estadístico. Aspen Plus: Diseño y análisis de procesos. Origin Pro: Análisis y manejo de datos; Paquetes estadísticos, paquete de análisis de datos climáticos</p>

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

Ilustración 34. Porcentaje de laboratorio de biotecnología que cuentan con el activo en mención



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios biotecnología a nivel nacional.

Tabla 3. Equipos que los laboratorios de biotecnología planean adquirir en los próximos 5 años

Equipos que los laboratorios de biotecnología planean adquirir en los próximos 5 años	
Secuenciador	Servidores
Autoclaves, cabinas	Nevera de -80 °C
qPCR de alto rendimiento	Equipos de análisis fisicoquímicos avanzados
Shaker	Nanodrop, Autoclave, Microscopio
HPLC	Cromatografía proteínas y microcalorímetro
Secador convectivo controlado por PC	Microscopio Láser confocal
Ultracongelador, Termociclador, Cámaras de electroforesis, Cámaras de flujo laminar	MacBook, Fitotrón

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 4. Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en laboratorios en biotecnología

Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en el laboratorio en biotecnología	
Colecta evaluación y congelación de semen. Producción convencional y transferencia de embriones	Secuenciación NGS
Métodos de caracterización química y molecular especializados (GC masas, HPLC masas, FTIR, FTIR, Difracción de Rayos X, SEM, Microscopía de Fuerza Atómica)	Análisis de resistencia de materiales
Secuenciación ADN	Síntesis ADN
Análisis bromatológicos	Secuenciaciones
Secuenciación de genes	Construcción de librerías enriquecidas con microsatélites
Análisis de aumentos, vitaminas, tabla nutricional.	Análisis estructura de los materiales (SEM)
Secuenciación de ADN y ARN	Análisis bioinformáticos

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 5. Servicios que los laboratorios en biotecnología esperan que centros como BIOS puedan ofrecerles

Servicios que los laboratorios en biotecnología esperan que centros como BIOS puedan ofrecerle	
Asesoramiento para la síntesis de primer necesarios para desarrollar un kit el diagnóstico usado en de HLA	Capacitaciones avanzadas en análisis de datos
Apoyo en pipelines de análisis de datos complejos como los de secuenciación masiva	Análisis relacionados con proteómica y metabolómica y metagenómica.
Síntesis de primers	Secuenciaciones
Genómica y bioinformática	
Bioinformática para análisis de y conocimiento de actividad enzimática	

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 6. Caracterización del capital tecnológico de los laboratorios de bioinformática y biología computacional en estudio.

Caracterización del capital tecnológico de los laboratorios de bioinformática y biología computacional en estudio			
Tipo de activo tecnológico	Número de laboratorios que cuentan con el activo	Porcentaje de laboratorios que cuentan con el activo	Algunas características mencionadas con relación a los activos de los laboratorios
Secuenciación de ADN y ARN: tipo secuenciadores (NGS, Sanger)	7	58%	ABI sanger Sanger IonTorrent; Sanger X(NGS)
Biología Molecular: Termocicladores, otros equipos	10	83%	Equipos para biología molecular convencional y real time, citómetro, termocicladores, otros equipos. Equipos generales Biol Molecular Todo lo necesario para diversos protocolos de PCR incluyendo PCR en tiempo real (qPCR)
Cuantificación y calidad ADN, ARN: nanodrop, Qubit, equipos para correr y visualizar geles, espectrofotómetro etc	10	83%	Espectrofotómetro uv-vis Nanodrop nanodrop, Qubit, equipos para correr y visualizar geles, espectrofotómetro Nanodrop, Qubit, Visualizador Geles X Nanodrop, qubit, espectrofluorómetro.
Análisis de proteínas: geles de acrilamida, espectrometría de masa, escáner para visualización de proteínas	10	83%	Laboratorios de biotecnología cámaras de electroforesis, fotodocumentador para electroforesis de una y dos Dimensiones Isoelectroenfoque X SDS PAGE
Microscopía: tipos de microscopios y micrótomos	10	83%	Microscopios: invertidos, convencionales, de fluorescencia, electrónico; microscopía de luz, y AFM X contraste de fase
Cultivo de tejidos: cámaras de flujo laminar, incubadoras	10	83%	Incubadora, cabina de flujo laminar cámaras de flujo laminar tipo II . Incubadoras normales y con CO2.

<p>General: tipo de centrifugas, tipo de refrigeradores y tipo de congeladores (con el tipo se refiere a las temperaturas), autoclave, contenedores de nitrógeno líquido y para almacenamiento criogénico, baños de agua, balanzas, batidores (shakers)</p>	<p>9</p>	<p>75%</p>	<p>Centrifugas, neveras, autoclave, tanque de nitrógeno centrifugas y microcentrifugas, sin y con refrigeración, contenedores con nitrógeno líquido, balanzas de varias versiones, shakers de varios tipos baños con y sin agitación, sonicadores, entre otros. X Micro centrifugas, centrifugas de tubo y placa, equipo de refrigeración y ultracongelación, autoclaves multipropósito, toda la plataforma tecnológica para biología molecular y biotecnología.</p>
<p>Espacios: Cuartos refrigerados, cuartos oscuros, cámaras de crecimiento, invernaderos</p>	<p>8</p>	<p>67%</p>	<p>Cuartos fríos, de refrigerado, invernaderos.</p>
<p>Recursos computacionales: tipos y número de computadores, clúster, servidores, computación en la nube, en total con que memoria RAM, de almacenamiento y número de cores cuenta</p>	<p>10</p>	<p>83%</p>	<p>3 servidores con 24 procesadores y RAM 256Gb c/u. 40Tb de almacenamiento 3 equipos de 5 cores y uno de 7 cores Clúster de Cómputo IBM 250GB RAM, 80 CORE, SANSYSTEM, BAKUP SERVER, DATA SERVER, UPS de autonomía 30 minutos, subestación eléctrica, sistema de enfriamiento de alta precisión computadores de escritorio y portátiles (más de 20), servidores (5) cuatro de ellos con 96 de RAM, dos con GPU y dos con 24 cores, 1 con 12 y uno con 48 Hardware 18 PCs de escritorio (4GB de RAM cada uno) y 10 computadoras portátiles (procesador i7 de 4 GBde RAM), además de 2 servidores dedicados a bioinformática (96 GB y 16 GB de RAM, 21 procesadores Core). En convenio con la Universidad Nacional de Colombia y el Centro de Colombia de Bioinformática y Biología Computacional - BIOS, se tiene acceso a los servidores de BIOS. Equipos que se usan en situaciones en las que los trabajos no se puedan ejecutar localmente. Para ello, se ha concedido acceso a ~ 200TB de BIOS de almacenamiento, 312 CPUs HT, 998 núcleos de la GPU y 300 phi coprocesador través de la red RENATA.</p>

<p>Recursos computacionales: tipos y número de computadores, clúster, servidores, computación en la nube, en total con que memoria RAM, de almacenamiento y número de cores cuenta</p>	<p>10</p>	<p>83%</p>	<p>10 estaciones de trabajo, 1 clúster DELL, 21 nodos, 168 cores, 632 Gb RAM, 20Tb DD Clúster de computación con 19 nodos de 24 cores cada uno, entre 190 y 500Gb de RAM cadauno; 70 TB de almacenamiento</p> <p>La plataforma computacional incluye un servidor de cómputo para limpieza, ensamblaje de secuencias y análisis de datos de diversidad y metagenómica. También cuenta con un servidor tipo clúster con 7 unidades de procesamiento, cada una con un procesador de 4 núcleos de procesamiento, para un total de 28 núcleos. Este clúster se utiliza para el flujo de trabajo de anotación de secuencias biológicas.</p> <p>Un servidor de archivos para el almacenamiento de información con 8TB de almacenamiento redundante.</p>
<p>Software: tipos y para que análisis</p>	<p>9</p>	<p>75%</p>	<p>Ensamblaje genómico y transcriptómico, predicción de estructuras de RNA estables docking, dinámica molecular, farmacocinética</p> <p>Software</p> <p>Todos los ordenadores portátiles y las PC, pero uno (que se ejecuta Lubuntu), se ejecutan en Windows XP/7 y tienen un conjunto básico de herramientas de la bioinformática y biología de sistemas como Diseñador celular, Cytoscape y BioEdit. Sin embargo, estos laptops y PCs no están destinados a ejecutar el análisis especializados en bioinformática, sino a la enseñanza y conexión futuro remota a nuestros principales servidores de una manera “cliente ligero”.</p> <p>En un futuro próximo, esta potencia de cálculo se condensará en un sistema distribuido, por lo que algunos trabajos se podrán ejecutar en paralelo.</p> <p>De esta manera, actuando como clientes ligeros, los usuarios de iGun tienen acceso a Biolinux 8, que consta de 250 aplicaciones de la bioinformática, así como a una implementación local de Galaxia, más un conjunto de otras herramientas adicionales tales como software BESTIA, entre otros</p> <p>Licencia Genious</p> <p>En colaboración con el Grupo de neurociencia de iGun, se cuenta con licencia de acceso a una versión de Geneious Bioinformatics Suite. Los investigadores y estudiantes tienen acceso a todo el potencial y la accesibilidad de esta aplicación de bioinformática gráfica al conectarse los servidores del laboratorios.</p> <p>Win 8, Mac OS 10. ROCAS, ensamblaje suave y anotación, EMBOSS, Bases de Datos locales, metagenómicos Análisis, análisis de microarreglos y RNAsqieq y otros Análisis de Comunidades microbianas</p>

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 7. Algunos equipos previstos para ser comprados por los laboratorios de bioinformática y biología computacional en los próximos 5 años

Algunos equipos previstos para ser comprados por los laboratorios de bioinformática y biología computacional en los próximos 5 años
Equipo de electrofisiología, HPLC, equipos de cómputo
Mínimo 100 cores, más RAM y más almacenamiento
Scanner para monitoreo de animales
Secuenciadores/ Secuenciados HiSeq /Secuenciador MiSeq
Planta de energía
Equipos de cómputo de alto desempeño
Espectrofluorómetro
Microscopio de fluorescencia

Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 8. Servicios que los laboratorios en bioinformática y biología computacional esperan que centros como BIOS puedan ofrecerle

Servicios que los laboratorios en bioinformática y biología computacional esperan que centros como BIOS puedan ofrecerle
Hardware
Procesamiento de datos
Almacenamiento de información
Uso de infraestructura computacional para ejecutar procesos que requieran gran capacidad de cómputo
Procesamiento de información en el área relacionada con <i>drug discovery</i>
Plataformas automatizadas de análisis en paralelo
Entrenamiento en uso de software especializado
Acceso a servidores
incrementar capacidad de cómputo
Deposición de datos públicos y análisis

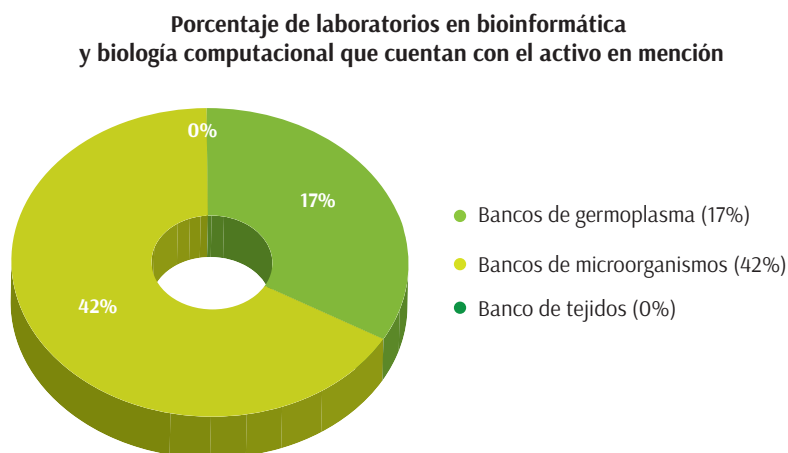
Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

Tabla 9. Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en los laboratorios de bioinformática y biología computacional

Principales servicios tecnológicos que se subcontratan en los laboratorios de bioinformática y biología computacional
Secuenciación con HiSeq
Mantenimiento de UPS y aire acondicionado
Secuenciación en general
Determinación de proteínas por masas
Secuenciación Sanger

Fuente: elaboración del autor.

Ilustración 35. Porcentaje de laboratorios en bioinformática y biología computacional que cuentan con el activo en mención.



Fuente: elaboración del autor con base en los resultados de la encuesta aplicada a diferentes laboratorios de bioinformática y biología computacional a nivel nacional.

2.4 Capacidades Centros de Computación de Alto Desempeño BIOS

2.4.1 Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia-BIOS-(Manizales).

Descripción General:

Centro líder en supercomputación dedicado a la prestación de servicios al gobierno, la academia y la industria interesados en la investigación y desarrollo de la biotecnología y la bioprospección de los recursos de la gran biodiversidad del país; es una corporación mixta, sin ánimo de lucro, que ofrece infraestructura de supercomputación robusta y personal

altamente capacitado para desarrollar actividades de investigación e innovación. BIOS puede resolver cualquier problema generado por la obtención de datos biológicos y que necesite análisis súper computacional.

Su misión es prestar servicios de procesamiento y almacenamiento de datos, desarrollo de *software*, soporte técnico y científico a empresas, universidades, organizaciones públicas, centros y grupos de investigación, en las áreas de las ciencias de la vida, ciencias de la computación y su interrelación para el estudio de la biodiversidad y de esta manera crear conocimiento, productos farmacéuticos, desarrollos en energía y temas de salud, entre otros, como una apuesta para convertir la economía colombiana en una bioeconomía.

Características técnicas y tecnológicas-2015

El CBBC cuenta con 17 nodos con las siguientes características: (servidores marca HP modelos DL y SL).

La capacidad instalada en la primera fase equivale a:

- 21 Tflops de procesamiento.
- 24 TB de almacenamiento en discos locales.
- 274 TB en RAID5 sobre almacenamiento en SAN. (Sistema P2000 de HP).
- 4.8 TB de memoria RAM.
- Conectividad interna a 53 Gbps, 10 Gbps y 1 Gbps.
- Conectividad externa a través de 3 canales a Internet de 10 Mbps, conexión a RENATA de 100 Mbps y conexión con UNE a 20 Mbps.
- 42 procesadores, 312 Cores (624 con HT de Intel).
- 4 GPU K20, 9984 GPU Cores.
- 300 many Cores en 5 tarjetas Xeon Phi 5110P.
- Consumo eléctrico: estará entre 1.75 KV y 12 KV dependiendo de la carga del clúster.

- Esta capacidad computacional está repartida en un clúster HPC el cual está optimizado con aplicaciones para procesamiento de datos del core bioinformático, sus nodos tienen sistema operativo Linux Centos 6.5 y es gestionado por medio de un job manager: SLURM, adicional a esto se cuenta con un clúster de Alta disponibilidad (HA-VM) en donde se levanta instancias de máquinas virtuales para cuando se requieren configuraciones personalizadas.

- En visualización científica cuenta con un video wall de 32 pantallas de 55" cada una, el área aproximada de visualización es de 9 mts. de largo por 3,20 mts. de alto y se puede alcanzar una resolución total de 66 Megapixeles. Las pantallas son gestionadas por medio de un servidor de video el cual cuenta con disponibilidad de ocho entradas físicas (para conectar ocho dispositivos) por medio de interface HDMI y conexiones ilimitadas por medio de red instalando un cliente del software de gestión (Vuwall 2).

2.4.2 Parque Tecnológico Guatiguará- Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga).

Descripción General:

- Cuenta con uno de los equipos de alto rendimiento más avanzados de Colombia, con una capacidad de cálculo y análisis equivalente a las de 4.240 ordenadores.
- La máquina cuenta con un software libre que permite a cualquier empresa, que así lo requiera, obtenga provecho de su potente cerebro.
- Capacidad para integrarse fácilmente con otras arquitecturas de mayor tamaño, a través de un grid o infraestructura que une recursos computacionales, dispositivos como sensores e instrumentos y bases de datos administrados por diferentes instituciones.
- Con la integración, el equipo puede intercambiar datos con redes de área extensa, como Renata (Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada) o su homónima Clara (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas), cuya velocidad alcanza con facilidad los 16 MB.

Características técnicas y tecnológicas-2015

1. GUANE I

- 205 Teraflops (pico en doble precisión).
- 128 GPUs NVIDIA TESLA M2075.
- Tiene 16 nodos cada uno 8 GPUS por cada nodo, 104 GB Memoria RAM.
- 4 procesadores INTEL e5075 por cada nodo (6 núcleos por cada procesador).
- Unidad SAN de Almacenamiento en total de una capacidad máxima 90 terabytes.
- Maneja tres redes de alta velocidad un tipo INFINIBAND y dos redes adicionales GB ETHERNET.
- Es el más rápido de Colombia.

2. CHAMAN

- 32 nodos cada nodo tiene 2 procesadores y cada procesador es un PETIUM 4 y cada 16 GB de RAM /nodo.

3. MILLICLÚSTER

- Un Millicluster basado JETSON TK1, cada una tiene 192 núcleos de procesamiento y 2 GB en memoria RAM.

4. MILLICLUSTER DE MENOR TAMAÑO:

- 4 nodos cada nodo con tecnología PARALLELLA con unos procesadores ARM de 16 núcleos Ephifany y 4 GB de RAM por nodo.

5. MURO DE VISUALIZACIÓN

- 4 X 2.20 mts.

6. SISTEMA INMERSIVO EN 3D

- Es un cubo de 2 x2 mts.

7. INFRAESTRUCTURA HPC

Infraestructura de Hardware: cuenta con 5 aceleradoras gráficas GTX780 y una tarjeta Tesla K40C. Se maneja un enfoque basado en la realización de pruebas sobre estas tarjetas gráficas. Cuenta además con dos equipos de cómputo con procesadores Intel Core i7 y memorias RAM que en conjunto suman 48GB, 512GB de Disco duro de estado sólido y 2 TB de HDD.

2.4.3 Plataforma GRID-Universidad de los Andes (Bogotá).

Descripción General:

Presta servicios de apoyo relacionados con :

- Análisis bioinformático de marcadores moleculares en peces.
- Aplicación de mecánica molecular para el descubrimiento de nuevos inhibidores de topoisomerasas IIA bacterianas.
- Montaje y Anotación de genomas de Phytophthora: vislumbrando la especificidad de hospedero.

Características técnicas y tecnológicas-2015

Enclosure HP BladeSystem c7000:

- 14 Servidores blade ProLiant BL460c Gen8.
- 192 GB RAM.
- 2 Procesadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2695 v2 @ 2.40GHz (12 Cores).
- 2 Discos duros 279 GB en RAID 1.
- Tarjeta Infiniband 40gbps.

2 Servidores blade ProLiant BL460c Gen8

- 512 GB RAM.
- 2 Procesadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2695 v2 @ 2.40GHz (12 Cores).

- 2 Discos duros 279 GB en RAID 1.
- Tarjeta Infiniband 40gbps.

1 Enclosure BladeSystem c7000 Enclosure G3.

7 Servidores blade ProLiant BL460c Gen8.

- 192 GB RAM.
- 2 Procesadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2695 v2 @ 2.40GHz (12 Cores).
- 2 Discos duros 279 GB en RAID 1.
- Tarjeta Infiniband 40gbps.
- 90 TB en almacenamiento desplegado en el sistema HPC.

2.4.4 Centro de Alto Rendimiento Computacional Javeriano -Universidad Javeriana (Bogotá)-.

Descripción General:

- Cuenta con el apoyo de 15 grupos de investigación de la Facultad. ZINE busca contribuir a la colaboración y cooperación de los diferentes investigadores, centros e institutos.

Características técnicas y tecnológicas-2015

- 376 núcleos de procesamiento.
- 752 GB de RAM.
- 4,7 TB de almacenamiento en disco duro.

Clúster zine01

- HP ProLiant SL390s G7.
- Intel Xeon L5640.
- Conectividad Infiniband..
- TOTAL: 384 Cores.

Clúster ingsistemas:

- DELL 710 y HP SL250s G8.
- Intel Xeon X5460.
- TOTAL: 368 Cores.

Clúster condor:

- SUN MicroSystems.
- AMD 2X-X86_64.
- Conectividad Ethernet.
- TOTAL: 54 Cores.

2.4.5 Centro de Computación Científica Apolo-Universidad EAFIT (Medellín).

Descripción General:

- Tiene por objetivo principal apoyar las investigaciones, así como a las diferentes industrias en la aceleración de los tiempos de ejecución de simulaciones, utilizando técnicas de computación de alto rendimiento y computación paralela.
- El centro de computación científica está en constante contacto con Purdue University y sus distintas áreas como ITap, HubZER y Nanohub.
- Desde el 2013 el Centro de Computación Científica APOLO obtuvo el puesto número 11 en el ranking de las 50 supercomputadoras más rápidas en Latinoamérica LarTOP50.

Características técnicas y tecnológicas-2015

Hardware

- * 40 Servidores HP Proliant DL140 G3. Intel Xeon 64 bits de 4 núcleos.
- * 40 Servidores DELL Power Edge 1950. Intel Xeon 64 bits de 8 núcleos.
- * 6 Servidores Proliant BL460c. Intel Xeon 64 bits de 8 núcleos.
- * Red Ethernet 1 Gbps.
- * HP Works MSA 2000 Storage de 4TB.

Software

- * Linux Rocks.
- * Sistema de Colas Torque.

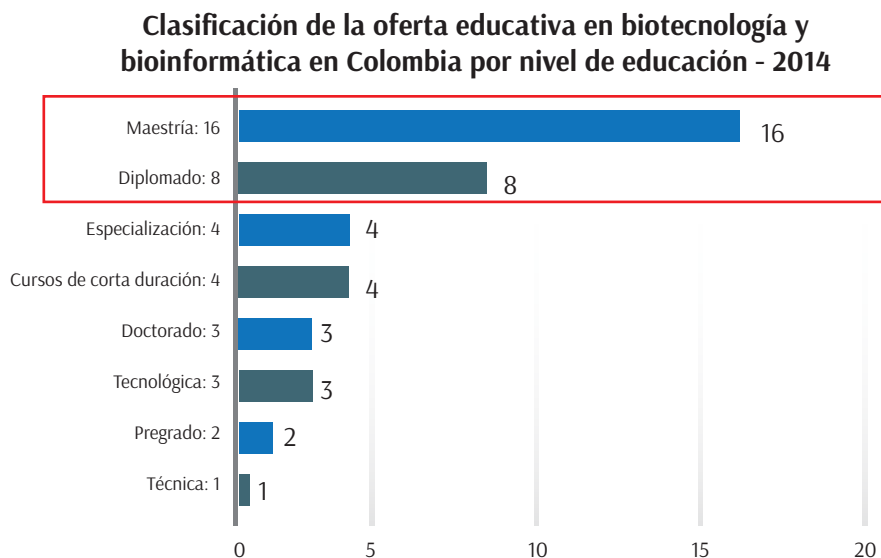
2.5 Capacidades nacionales educativas en biotecnología, bioinformática, biología computacional y computación de alto desempeño

2.5.1 Oferta nacional educativa en biotecnología, bioinformática y biología computacional.

En Colombia existe un total de 39 programas de educación especializados en biotecnología (MinEducación, 2014)¹¹, los cuales pueden ser agrupados por: tipo de formación (cursos de corta de corta duración -4-; diplomados -8-, técnicos -1-, tecnológicos -3-, especializaciones -4-, pregrado -2-, maestrías -16- y doctorados -3-) (ver **Ilustración 36**); concentración geográfica por ciudades (Bogotá -13-; Medellín -9-; Manizales -5-, Cali -3-, Montería, Pamplona y Pereira -2- cada una; Popayán, Ibagué y Bucaramanga -1- cada una) (ver **Ilustración 37**).

¹¹La información que se presenta con relación a la oferta educativa se obtuvo al revisar la totalidad de los programas registrados en la plataforma virtual SNIES del Ministerio de Educación Nacional para el año 2014. Información adicional fue adquirida a través de la realización de consultas a páginas institucionales de entidades educativas a nivel nacional a través de internet.

Ilustración 36. Clasificación de la oferta educativa en biotecnología y bioinformática en Colombia por nivel de educación -2014-



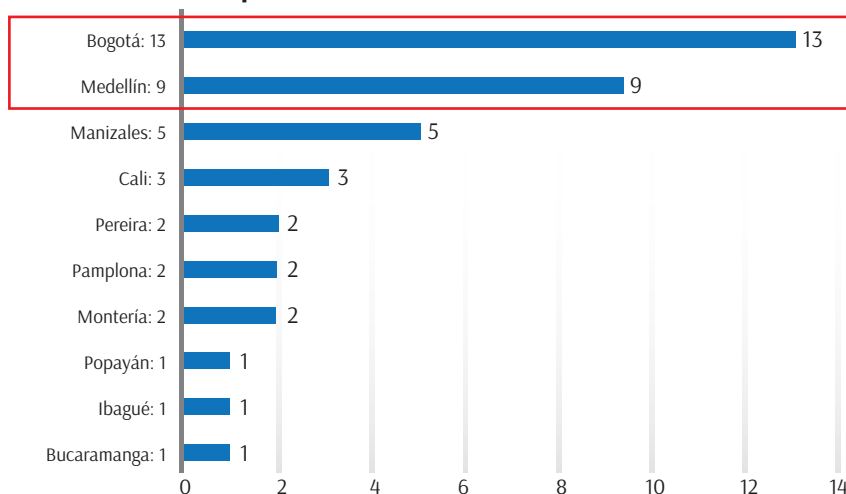
Fuente: elaborada por el autor con base en la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de Educación Superior-SNIES del Ministerio de Educación Nacional.

La mayor parte de la oferta educativa se concentra en el departamento de Cundinamarca con un total de trece programas, seguido por Antioquia con nueve y el departamento de Caldas con cinco (CBBC, 2014). Según el área de conocimiento predominan los programas de biología, microbiología y afines con un 57%. El 43% restante se distribuye de la siguiente forma: 19% en agronomía; un 4.7% en química y afines, 4.7% en medicina veterinaria, 4.7% en medicina, 4.7% en ingeniería de sistemas, y 4.7% en administración¹². Una clasificación por núcleos de conocimiento refleja que la mayor proporción de la oferta educativa se concentra en torno a la biología, microbiología y afines con un 52% de total. En una menor medida, en agronomía con un 24%. Le siguen otros campos como la química y afines, la medicina, la medicina veterinaria, entre otros (CBBC, 2014).

¹² De acuerdo con la información registrada en la plataforma virtual SNIES, el programa de "Tecnología de proceso biotecnológicos aplicados a la industria, corresponde a esta clasificación de área de conocimiento.

Ilustración 37. Concentración geográfica de la oferta educativa en biotecnología, bioinformática y biología computacional en Colombia -2014-

Concentración geográfica de la oferta educativa en biotecnología, bioinformática y biología computacional en Colombia por nivel de educación - 2014



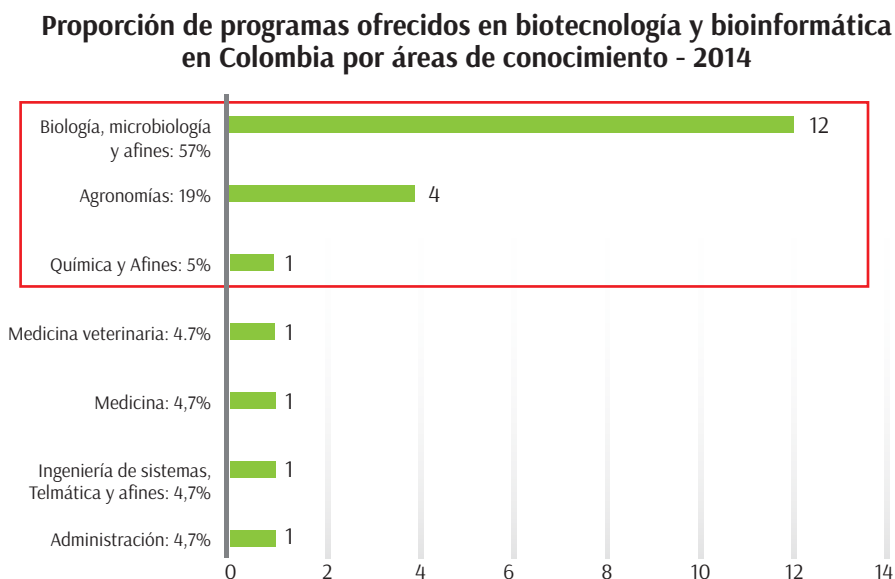
Fuente: elaborada por el autor con base en la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de Educación Superior-SNIES del Ministerio de Educación Nacional.

El 73.3% de los programas de formación superior y continua se imparten en entidades educativas de carácter público y el 26% por privadas (CBBC, 2014). Si a este conjunto se agrega la oferta educativa en cursos de corta duración la distribución porcentual varía a un 34% privadas y un 65.7% públicas. Si bien, el 84.6% de estos programas cuenta con acreditación nacional ante el Ministerio de Educación Nacional por siete años, ninguno tiene acreditación internacional¹³. Por otro lado, la institución educativa que concentra la mayor parte de la oferta educativa nacional en biotecnología es la Universidad Nacional de Colombia¹⁴, con un total de 17% de participación (CBBC, 2014). La **Ilustración 38** y la **Ilustración 39** evidencian una caracterización adicional de la oferta educativa.

¹³ De acuerdo con la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de la Educación -relatNacional-SNIES para el año 2014, ninguno de los programas cuenta con este tipo de acreditación.

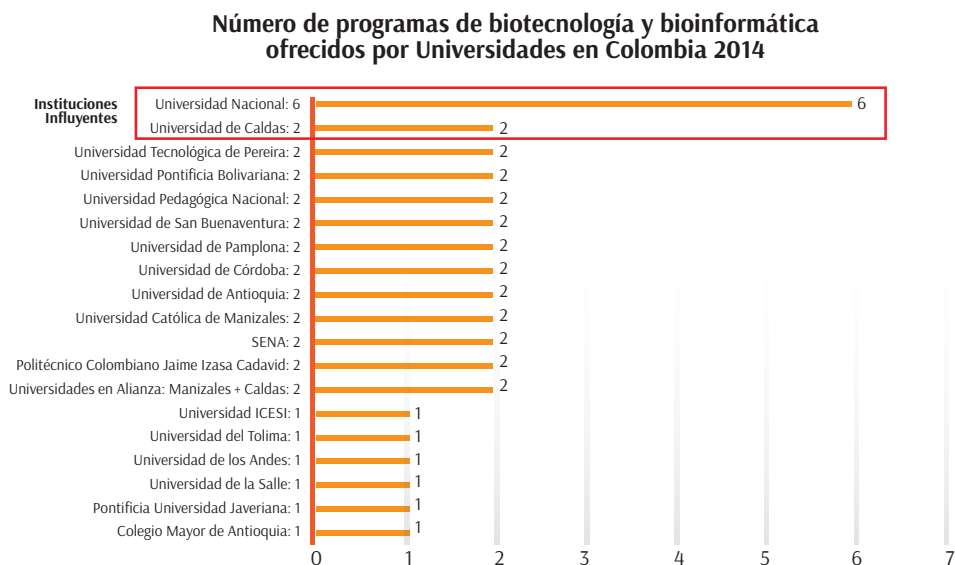
¹⁴ Este porcentaje de la Universidad Nacional de Colombia abarca las diferentes sedes de esta institución académica en las distintas ciudades de Colombia.

Ilustración 38. Proporción de programas ofrecidos en biotecnología y bioinformática en Colombia por áreas de conocimiento -2014-



Fuente: elaborada por el autor con base en la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de Educación Superior-SNIES del Ministerio de Educación Nacional.

Ilustración 39. Número de programas en biotecnología y bioinformática ofrecidos por universidades de Colombia -2014-



Fuente: elaborada por el autor con base en la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de Educación Superior -SNIES del Ministerio de Educación Nacional-

2.5.2 Oferta educativa en biotecnología del departamento de Caldas.

En materia de oferta educativa el departamento de Caldas ofrece cinco programas académicos relacionados con la biotecnología (CBBC, 2014). Ver Tabla 10 muestra la caracterización de la misma por tipo de programas.

Tabla 10. Oferta educativa en el departamento de Caldas relacionada con la biotecnología -2014-

Institución de impartición	Programa académico
Universidad de Caldas	Tecnología en procesos biotecnológicos
Universidad de Caldas	Técnica profesional en aplicaciones biotecnológicas de laboratorio
Universidad Católica de Manizales	Maestría en microbiología agroindustrial
Universidad Católica de Manizales	Especialización en microbiología agroindustrial
Universidad de Caldas + Alianza SUMA + Fundación Luker	Maestría en bioinformática y biología computacional

Fuente: elaborada por el autor con base en la información registrada en la plataforma virtual del Sistema Nacional de Educación Superior -SNIES- del Ministerio de Educación Nacional.

2.5.3 Oferta nacional educativa en computación de alto desempeño.

En el Sistema Nacional de la Educación Superior del Ministerio de Educación Nacional -SNIES- no existe ningún registro de programas de educación superior especializados en computación de alto desempeño. Al acudir a buscadores en internet se encontraron únicamente cursos de corta duración por lo que se concluyó que en Colombia la oferta educativa referente a esta tecnología se limita a capacitaciones de este tipo (CBBC, 2014) (Ver **Tabla 11**).

Tabla 11. Oferta nacional educativa en computación de alto desempeño

Universidad	Ciudad	Sector	Facultad	Cursos de corta duración	Duración		Carrera a la que pertenece
Universidad Tecnológica de Santander Parque Tecnológico Guatigira	Bucaramanga	Pública	físico Mecánicas	Curso sobre desarrollo en cuda	Días	2.5	Curso de verano
Universidad de los Andes	Bogotá	Privada	Ingenierías	Herramientas de programación de alto desempeño	Semestre	1	Especialización en desarrollo de video juegos
Universidad de los Andes	Bogotá	Privada	Ingenierías	Curso HPAD	Semestre	1	Especialización en desarrollo de video juegos
Universidad de los Andes	Bogotá	Privada	Ingenierías	Computación de alto rendimiento (car)	Semestre	1	Especialización en desarrollo de video juegos
Universidad Tecnológica de Santander	Bucaramanga	Pública	Ingenierías	Taller de análisis y visualización de datos científicos	Días	3	Ingeniería de sistemas
Universidad Javeriana	Bogotá	Privada	Ingenierías	Computación de alto desempeño	Semestre	1	Ingeniería de sistemas
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Pública	Ingenierías	Procesamiento en paralelo	Semestre	1	Ingeniería de sistemas
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Pública	Ingenierías	Programación distribuida	Semestre	1	Ingeniería de sistemas
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Pública	Ingenierías	Sistemas distribuidos	Semestre	1	Ingeniería de sistemas

Fuente: propia con base en información encontrada en internet y páginas de las respectivas instituciones educativas.

2.5.4 Demanda nacional educativa en torno a la biotecnología, bioinformática y biología computacional.

La información recopilada sugiere que en Colombia la demanda laboral en torno a la biotecnología, se encuentra principalmente asociada a procesos de: 1) bioinformática, denotando la necesidad de perfiles orientados al análisis de datos biológicos; 2) el análisis de proteínas; y 3) la secuenciación genética. Actividades correspondientes a las que los centros de investigación encuestados realizan en mayor medida (CBBC, 2014). Otros procesos llevados a cabo por estos grupos, aunque en menor cantidad son, el cultivo de células y el análisis genético de especies vegetales. El 57% de los grupos de investigación encuestados, manifestó presentar dificultades para encontrar el tipo de capital humano idóneo para poder desarrollar su actual portafolio de servicios (CBBC, 2014).

Por un lado, en el tipo de perfiles de capital humano que estos expresaron necesitar, se encuentran: profesionales (biotecnología genética, matemática computacional, estadística, química farmacéutica, entre otros); especialistas (ingeniería de tejidos; biotecnología, bioquímica vegetal, biología sintética, bioestadística; procesos de patentamiento, medicina regenerativa, metabolismos celular, entre otros); magísteres (biología y genética vegetal, seguridad alimentaria, biotecnología, bioinformática, biología computacional, genética, medicina regenerativa, análisis de flujo metabólico, ingeniería de tejidos, bioquímica, entre otros); y doctores (ingeniero especialista en CFD, seguridad alimentaria, ingeniería agrícola, productos naturales, estadística, bioinformática, biología computacional, ingeniería de tejidos, biología de sistemas, análisis de flujo metabólico; bioquímica, medicina regenerativa, ingeniería metabólica, biología vegetal, biología sintética, bioquímica vegetal, entre otros) (CBBC, 2014).

Por otro lado, los expertos consultados, sugieren que para definir los perfiles de capital humano necesarios para el país se aconseja en primera instancia, analizar las tendencias mundiales en cuanto a áreas temáticas, por ejemplo, la creación de nanomateriales, biocompositos especialmente para fines médicos, procesos de biorremediación y de catálisis. No obstante, se considera que en el conjunto de perfiles de capital humano que se requiere en Colombia se encuentran los siguientes: especialistas en rutas metabólicas, en biología molecular avanzada, en biosensores, en genómica, biólogos con entrenamiento para pensar como científicos computacionales y de forma matemática; personal para trabajar sobre el sector agrícola, el farmacéutico y el ambiental; en análisis de ecosistemas dañados por el calentamiento global o factores antrópicos; en medicina genómica y personalizada; con formación doctoral, en ciencias económicas, en manejo y análisis de cantidades masivas de datos. De igual modo, expertos para llevar a cabo procesos de gestión del conocimiento, transferencia tecnológica, innovación, emprendimiento, gerencia de empresas de bases biotecnológica y bionegocios, venta y penetración de mercados internacionales con productos y servicios biotecnológicos (CBBC, 2014).

En general, se necesita con urgencia personas que actúen como un puente entre las universidades y las empresas, lo que requiere de una formación con un enfoque aplicado. Este tipo de capital humano deberá tener capacidades para entender y trabajar con las dinámicas propias de los negocios de base biotecnológica (en cuanto a procesos de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, montos de iniciales de inversión, tasa de retorno, riesgo, gestión de propiedad intelectual, valoración de intangibles, negociación de tecnología, economía y finanzas aplicadas a bionegocios, incubación y gerencia de bioempresas, penetración de mercados internacionales, entre otros) (CBBC, 2014).

En relación con las líneas de investigación se propone formar capital humano para trabajar en procesos de transformación ambientalmente amigables, de bioprospección para identificar sustancias bioactivas útiles y para la estabilidad de esas moléculas para trabajar en el sector agrícola, farmacéutico y ambiental. En desarrollos ómicos, en los que en Colombia aún se emplean métodos muy clásicos. En biodiversidad, biodiversidad microbiológica, biorremediación, y medicina personalizada (CBBC, 2014).

En el campo de las ciencias sociales y administrativas en el desarrollo de mecanismos para acercar al sector académico y empresarial; en el ámbito jurídico con relación en el desarrollo y gestión de patentes, así como, negociación de contratos para el desarrollo de proyectos con la participación de diferentes actores en especial de carácter internacional, en los que se realicen aportes con recursos genéticos; en mercadeo de productos biotecnológicos; y de manera especial, en el desarrollo de formas de generación de flujo de caja para los centros de investigación, con el objetivo de encontrar formas de autofinanciación en un escenario con recursos públicos limitados. y finalmente, trabajar en el desarrollo de mecanismos para facilitar la incubación de empresas (CBBC, 2014).

Otro tipo de demanda frente a la educación en biotecnología en el país, se relaciona con el componente de internacionalización en cuyo nivel de importancia coinciden los expertos para: 1) Generar interacciones y alianzas estratégicas con investigadores, centros de investigación y laboratorios de alto nivel de diferentes países; 2) Traer expertos con experiencia real y significativa en bionegocios, negociación y comercialización de propiedad intelectual, comercialización de intangibles (paquetes tecnológicos, simulaciones, ensayos de laboratorio, entre otros) que entrenen a los actores locales sobre estos temas; 3) Dar mayor visibilidad a los desarrollos y procesos que se llevan a cabo en el país; 4) Obtener recursos externos; 5) Para participar en procesos de investigación con laboratorios extranjeros; 6) Desarrollar empresas de forma conjunta; 7) Establecer canales de transferencia de conocimiento y tecnología; 8) Fortalecer la calidad de la oferta educativa nacional al traer profesores de otros países por periodos prolongados de tiempo y generar vínculos con los becarios que estudian fuera del país para que trabajen no sólo en los problemas del país que los acoge sino también, en aquellos propios de Colombia; 9) Para aprender de los sistemas y mecanismos de universidades de otros países y desarrollar procesos de transferencia de tecnología; y 10) Finalmente, para incrementar el número de personas con formación doctoral a través de programas de becas (CBBC, 2014).

Otro tipo de consideraciones se relacionan con romper el esquema de los actuales currículos académicos considerados en muchas ocasiones “muy clásicos”, al no formar a los estudiantes para las necesidades reales del mercado laboral. Por ejemplo, se considera un gran defecto que las universidades no den formación empresarial desde el pregrado e incluso en algunas carreras científicas, sugiriendo la necesidad de programas interdisciplinarios (CBBC, 2014).

2.5.6 Demanda nacional educativa en computación de alto desempeño.

En el conjunto de áreas relacionadas con la supercomputación que se han identificado con anterioridad como aquellas con potencial para el país, se encuentran: 1) La industria petrolera y energética; 2) La bioinformática y la biología computacional; 3) La modelación avanzada para la exploración petrolera; 4) El modelamiento y la simulación de desastres naturales; 5) Las aplicaciones de interés para la industria y la academia (RISC, European Community, 2011). Información adicional obtenida sugiere que en Colombia los nichos de demanda de servicios de computación de alto desempeño con potencial para formar capital humano, son: el sector petrolero; el sector salud, el sector gubernamental con aplicaciones para: 1) La gestión de los recursos naturales y aprovechamiento de la biodiversidad; 2) El estudio y el análisis del clima; 3) La gestión del sector agrícola; 4) La creación de modelos de manejo de basuras; 5) El análisis de variables socioeconómicas para la construcción e implementación de políticas públicas; 6) El fomento de la participación de la población en la toma de decisiones; 7) La gestión y manejo de recursos hídricos y estudio del comportamiento del cauce de los ríos; 8) El análisis de información sísmica; 9) El desarrollo de aplicaciones para las fuerzas militares; 10) La gestión del tráfico urbano; 11) Las aplicaciones de seguridad para las ciudades; y 12) El manejo de cantidades masivas de datos, por ejemplo, para el proceso de reparación de víctimas del conflicto armado (CBBC, 2014).

La aplicación de una encuesta a los grupos de investigación en ingenierías se orientó a identificar las necesidades de procesamiento de cantidades masivas de datos, con el objetivo de vislumbrar el tipo de capital humano requerido para satisfacerlas. Se indagó sobre el tipo de actividades que realizan y del software que emplean para estas. Se buscaba examinar si estas podrían desarrollarse con la aplicación de tecnología de computación de alto desempeño para mejorar la productividad y la eficiencia. Los resultados evidenciaron que el 75% de los grupos encuestados consideran que el tiempo que toma procesar la información con la que desarrollan procesos de investigación está afectando su productividad. Situación para la cual, la computación de alto desempeño puede ser de gran utilidad. Sin embargo, el 47% de los grupos desconoce las opciones de mercado que existen en Colombia para este tipo de servicios y por ende, las ventajas de tercerizar este tipo de soluciones. De forma paralela sólo el 33% de los grupos de investigación en biotecnología, afirma conocer sobre computación de alto desempeño. Un 33% refleja un conocimiento aún precario sobre el uso y aplicación de esta tecnología por parte de los potenciales usuarios de tecnología de computación de alto desempeño.

Por otro lado, el 83% de los grupos de investigación en ingeniería, y un 57% de aquellos en biotecnología, desean conocer cómo utilizar este tipo de tecnología para mejorar la productividad y eficiencia de sus procesos. Esta información, sugiere que en Colombia existe un mercado potencial para la oferta de servicios de computación de alto desempeño en el sector académico (CBBC, 2014).

Los resultados obtenidos sugieren que si bien, en Colombia en el ámbito académico existe una potencial demanda de servicios de computación de alto desempeño, el desconocimiento de los investigadores sobre las opciones de mercado para satisfacer sus necesidades de manejo de grandes cantidades de datos, y el escaso uso que hacen de programas de *software* que les facilitarían realizar sus actividades con este tipo de tecnología, pueden constituir actuales obstáculos para atraer una mayor demanda. Se considera que un acercamiento significativo con los grupos de investigación orientado a superar estos dos temas, y a informar con un más detalle sobre los beneficios derivados de externalizar la aplicación de tecnología de computación de alto desempeño, podría no sólo fomentar una necesidad superior de este tipo de servicios, sino también, permitir explorar con mayor nivel de detalle escenarios de posibles usos, con base en los cuales, detectar con un más precisión el perfil del capital humano requerido para satisfacer sus necesidades puntuales (CBBC, 2014).

Al indagar a los grupos de investigación respecto al tipo de capital humano que prevén que necesitarán en el mediano plazo para dar tratamiento a sus actividades de investigación y a las cantidades masivas de datos que manejan, en los perfiles relacionados con computación de alto desempeño se encuentran los siguientes: “persona con experiencia en configuración de *hardware* y *software* de alto desempeño”; “Ph.D. en *computer science* y con habilidad en desarrollo de algoritmos para el tratamiento de imágenes hiperespectrales”, “experto en minería de datos”, “experto en visualización masiva de datos”, “científicos computacionales”; “magíster o preferiblemente Ph.D. en computación avanzada”; “optimización de procesamiento en paralelo”, “procesamiento en paralelo desde SO como Linux”; “expertos certificados en manejo de grandes cantidades de datos”; “administrador y experto en sistemas distribuidos”, “capacidad de compilación y procesamiento en paralelo”; “expertos en distribución de información en varios equipos para Supercómputo”; “conocimiento de programación MPI”, “programación GPUs”; “aplicaciones y algoritmos para manejo de grandes cantidades de datos”; “programadores en paralelo y conocimientos en procesamiento paralelo” (CBBC, 2014).

Para atender estos nichos, los expertos coinciden que en capital humano se requeriría de biólogos computacionales y bioinformáticos, biólogos y agrotecnólogos con la capacidad para hablar un lenguaje común con desarrolladores de *software* y que tengan conocimientos sobre tendencias tecnológicas. Para el sector salud, además de técnicos, se necesitan personas que conozcan de computación de alto desempeño. En el sector gubernamental, técnicos que entiendan cómo usar sistemas distribuidos no sólo en computación de alto rendimiento. De igual modo, se solicitan técnicos, magísteres y científicos que además

de saber sobre su área de conocimiento, estén en la capacidad de hablar un lenguaje común con el técnico desarrollador de software, es decir, personas con la capacidad de actuar como puentes entre los actuales potenciales usuarios y los técnicos que los acercarían al uso de tecnología de computación de alto desempeño. Lo que refleja la necesidad de contar con perfiles interdisciplinarios, con competencias tanto técnicas como científicas. De forma complementaria, se requiere fortalecer las competencias en: cálculo científico; diseño de modelos matemáticos; técnicas de paralelismo y explotación de concurrencias; sistemas operativos en todas las áreas, análisis e interpretación de datos; manejo de algoritmos, minería y almacenamiento de datos; realización de procesos de forma más eficiente en términos energéticos y para esto, desarrollar aplicaciones; programación de alto rendimiento, algoritmos escalables; ambientes de desarrollo paralelo y distribuido, conocimientos en infraestructuras de HOC/HTC. De igual modo, se requiere capital humano con certificaciones específicas y una trayectoria mínima de investigación en el área de dos años; computación paralela y arquitecturas distribuidas (clúster, GRID y Cloud). Finalmente, a nivel de pregrado se recomienda fortalecer las competencias en matemáticas y física, programación, manejo de algoritmos e interpretación de datos, así como, trabajar en la persistencia de problemas de bilingüismo y habilidades comunicativas para la transmisión de ideas (CBBC, 2014).

En cuanto a líneas de investigación, los expertos coinciden en la necesidad de focalizar los recursos y esfuerzos humanos en los siguientes temas: bioinformática, biología computacional, computación científica, modelado y simulación; modelamiento y predicción climática; simulación organizacional; análisis y visualización de Big Data; arquitecturas paralelas, *Big Data* aplicado a procesos paralelos, datos empresariales y gubernamentales (CBBC, 2014).

En el conjunto de recomendaciones para el Plan Quinquenal se encuentran: 1) Definir áreas temáticas y de trabajo con un carácter prioritario y estratégico que orienten la focalización de recursos y esfuerzos, al igual que la identificación del perfil del capital humano que se requiera formar; 2) Configurar con el Plan Quinquenal una estrategia que permita al país formar expertos en temas específicos, con potencial de diferenciación a nivel internacional; 3) Incluir una estrategia de generación de redes para integrar los centros de investigación del país con otros a nivel mundial; 4) Desarrollar mecanismos e incentivos para que actores de otros países vengan a las universidades del país y el departamento de Caldas; 5) Realizar alianzas con empresas y fábricas para financiar escuelas de formación, y diseñar de manera conjunta los currículos académicos; 6) Incluir estrategias para que actores del departamento de Caldas participen en proyectos explícitos de HPC con actores foráneos; y 7) Incrementar la movilidad de profesores y estudiantes a universidades, empresas y centros de supercómputo, para fortalecer la dinámicas de transferencia de conocimiento y tecnología, al igual que, la posibilidad de realizar prácticas (CBBC, 2014).

2.6 Debilidades en formación de capital humano

En el contexto de una escasa relación entre el sistema productivo y la academia en Colombia, estudios realizados con anterioridad en el país indican que, en el personal de las unidades de estudio se identificaron debilidades en las capacidades con que cuentan para comercializar el conocimiento. Los resultados evidencian una “carencia de experiencia profesional previa en el sector privado y en la comercialización de tecnología” (INNpulsas, 2013, p.13). Así mismo, se detectó “una falta generalizada de formación empresarial, en gestión de la innovación y de la propiedad intelectual” (INNpulsas, 2013, p.13). Con lo que se concluye que estas condiciones han contribuido a que en Colombia en cuanto a la biotecnología “los servicios que peor están cubiertos son aquellos relacionados con comercialización, financiación e incubación... y no se ofrece suficiente formación a los investigadores en esta materia” (INNpulsas, 2013, p.17).

Con base en lo anterior, el estudio sugiere que existe la necesidad de fortalecer la formación del personal investigador en conocimientos y competencias para realizar procesos de transferencia tecnológica. Esto con el propósito de encontrar en el conocimiento generado por los grupos de investigación, una respuesta a la demanda existente de servicios y a los problemas que aquejan al país más allá del ámbito productivo. En efecto, los resultados de la publicación indican que “la transferencia no es un cometido habitual de las organizaciones generadoras de conocimiento” (INNpulsas, 2013, p.42). Pese a lo anterior, se cuenta con el valioso apoyo que entidades como el SENA, Biointropic, Plantta, y la capacidad que Connect Bogotá ofrece para la generación de redes entre emprendedores y expertos ((INNpulsas, 2013).

Un análisis de las debilidades del capital humano del sector biotecnológico colombiano relacionada con los mercados internacionales, evidencia de igual modo, una incongruencia respecto al tipo de perfiles profesionales requeridos y el predominante en el país. Esta situación llama la atención, si se tiene en cuenta que estos mercados corresponden a aquellos con mayor potencial de acuerdo con su tamaño, pero también, a aquellos que presentan una mayor dificultad de acceso debido a la gran cantidad de barreras de mercado, la fuerte competencia y la regulación en materia de propiedad intelectual, a diferencia de las regionales con un crecimiento similar al nacional, y con posibilidades promedio de acceso.

En relación con esta idea, el estudio señala que en Colombia sobresale el número de proyectos enfocados a satisfacer necesidades de los mercados locales o regionales, y existe una pequeña proporción orientados a mercados globales en los que se podría encontrar mayores tasas de crecimiento (INNpulsas, 2013). Al respecto, la publicación indica que, ante la apremiante necesidad de abordar los mercados internacionales, a nivel de personal directivo con experiencia en el ámbito empresarial y comercial, predominan proyectos de investigación de baja intensidad biotecnológica e innovación y orientados a los mercados locales (...) (INNpulsas, 2013). Así mismo, “existe una desconexión entre los perfiles que

deberían ser complementarios y encontrarse con mayor frecuencia en el desarrollo de los proyectos de base científica de mayor alcance” (INNpuls, 2013, p.58).

Una propuesta para atender la necesidad de fortalecer las competencias comerciales y empresariales de los actores que trabajan en el país en torno a la biotecnología, y ante la necesidad de profesionalizar el proceso de Transferencia Tecnológica -TT-, es el incentivar la creación de empresas que actúen como “*Brokers*” o interfaces tecnológicos. Estos se especializarían en los aspectos comerciales del proceso de transferencia, de forma que las universidades presenten un mayor nivel de eficiencia en el proceso. No obstante, dicha propuesta requeriría de igual modo, personal experto en asuntos comerciales y de manera especial, con las particularidades de los negocios de base biotecnológica, que usualmente difieren de aquellos pertenecientes a mercados tradicionales en cuanto a montos de inversión inicial, niveles de riesgo, tasa de retorno, regulación y comportamiento del mercado, entre otros aspectos.

2.7 Oportunidades de formación de capital humano

En el caso de la biotecnología la información anterior sugiere que el contexto demanda capital humano entrenado en la gestión de negocios de base biotecnológica. Acerca de la computación de alto desempeño, la información encontrada en los documentos generados por el *Proyecto RISC* y en el *Libro Verde* desarrollado a partir del mismo, hacen mención de áreas con potencial de trabajo con infraestructura y técnicas HPC en Colombia. En el conjunto al que se hace alusión, se encuentran: 1) La bioinformática y biología computacional; 2) La modelación avanzada para la exploración petrolera; 3) El modelamiento y la simulación de desastres naturales; y 4) Las aplicaciones de interés para la industria y la academia (RISC, 2011). Por otro lado, en cuanto a las líneas de investigación el documento identifica como estratégicas para el país: 1) Las ciencias de la vida; 2) La modelación de desastres naturales; 3) La modelación del medio ambiente e investigación sobre el clima; y 4) La exploración de recursos naturales: explotación petrolera (RISC, 2011, 23). Respecto a estas, se afirma que “los aspectos de educación y formación en HPC son la clave” (RISC, 2011, p.23), y de manera específica en los siguientes temas: 1) Programación de alto rendimiento; 2) Algoritmos escalables; 3) Modelación matemática; y 4. Bases de datos masivas (RISC, 2011).

2.8 Conclusiones

En general en Colombia el auge de la biotecnología se ha centrado en dos ramas principales como lo son la biotecnología verde (aplicaciones en agroindustria y biorremediación) y la biotecnología blanca (biocombustibles y moléculas de interés industrial). El desarrollo de las otras especialidades de la biotecnología está muy por debajo de la biotecnología aplicada a la agroindustria y a los biocombustibles y esto obedece principalmente a las directrices nacionales de desarrollo y a las temáticas de financiación de las entidades públicas de financiación de la investigación (Colciencias). Las áreas de aplicación de los

productos obtenidos en los laboratorios de biotecnología al igual que los conseguidos en los laboratorios de bioinformática y biología computacional, son industria, medio ambiente y agricultura. Este comportamiento puede deberse al tipo de personal vinculado a los laboratorios de investigación respectivos y tal como sucede con el desarrollo de la biotecnología, al seguimiento de las políticas nacionales de financiación de proyectos en investigación y desarrollo.

Debería ser una política nacional apoyar la formación de redes de conocimientos internacionales para el desarrollo de la biología computacional y la biotecnología ya que se evidencia que la mayoría de los grupos de investigación forman redes de carácter nacional pero muy poco fuera del país. Una estrategia de internacionalización de la investigación nacional, ayudaría a que la financiación de los proyectos fuera de contribución mixta y no se concentre solamente en recursos propios o del Estado. La participación de la empresa privada en el desarrollo de proyectos de investigación es preocupantemente baja y se deben hacer campañas de socialización de los beneficios que ha adoptado el gobierno nacional para la comunidad universidad - empresa - Estado. Una colaboración tripartita en la conceptualización y ejecución de proyectos de investigación en biotecnología y biología computacional, no sólo contaría con una mejor financiación de los proyectos, sino que aumentaría y diversificaría el tipo de productos académicos generados e incentivaría la creación y registro de más patentes y el desarrollo tecnológico de muchas empresas. El conocimiento y uso de la biología computacional debe diversificarse para poder tener un impacto mayor a nivel nacional y regional ya que las capacidades que en el momento tiene Colombia en esta rama de la ciencia, está siendo subutilizada.

Caldas debe incluir en sus políticas de gobierno una ampliación de las capacidades departamentales educativas y de oferta académica e investigativa de la biotecnología y la biología computacional. Una propuesta incluyente en la cual se articulen el departamento, las universidades y las empresas de la región, impulsarían el desarrollo tecnológico e investigativo y atenderían las necesidades de desarrollo tecnológico y de las pequeñas y medianas empresas que cada día surgen más en el entorno caldense.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS INTERNACIONAL

De forma genérica el concepto de internacionalización se refiere a “la colección de principios, convenciones, normas y/o procedimientos de decisión que establecen las reglas de juego, y que, en un contexto global, enmarcan la coordinación entre las políticas nacionales y la negociación entre Estados” (OECD, Future Prospects for Industrial Biotechnology, 2011; Ruggie, 1986). Ésta define a su vez, regímenes internacionales que corresponden “acuerdos de gobernanza construidos por los Estados con el objetivo de coordinar sus expectativas y organizar otros aspectos del comportamiento internacional en varias áreas temáticas, abarcando elementos normativos, prácticas entre los Estados y roles organizacionales” (Éric, 2007, p. 22).

En relación con la biotecnología, el proceso de internacionalización ha avanzado de forma significativa desde la década del ochenta. El surgimiento de convenciones, acuerdos específicos y transversales a diferentes sectores, consejos directivos, y regulaciones a escala mundial, han afectado las dinámicas de los mercados y el diseño de las políticas en torno a ésta tecnología (Éric, 2007). En la actualidad el escenario internacional relacionado con la biotecnología, se caracteriza por la existencia de una “atmósfera hipercompetitiva”, derivada de la aspiración generalizada de diferentes gobiernos de desarrollar industrias en torno a ésta tecnología (BioechCorp, 2009). El elevado nivel de competitividad se identifica a su vez, en el conjunto variables que determinan las principales amenazas que enfrentan los países con aspiraciones de fomentarla. Ante ésta situación, el desarrollo de capital humano competitivo a nivel internacional, constituye uno de los mecanismos de mayor necesidad para poder desempeñarse en entornos de éste tipo (BiotechCorp, 2009).

3.1 Factores sociales y de mercado orientadores de la demanda de bienes y servicios biotecnológicos a nivel global

La formación de capital humano competitivo a nivel internacional afecta de forma considerable las capacidades de los países con aspiración a ingresar al complejo y dinámico mercado global de la biotecnología. Las políticas que se desarrollen con éste propósito deben entre otros aspectos, buscar una coherencia entre las capacidades nacionales, las dinámicas y/o tendencias internacionales, que en última instancia jalonan la demanda de bienes y servicios asociados (CBBC, 2014). Detectar necesidades y tendencias internacionales permite a su vez, identificar oportunidades de trabajo para el capital humano que se forme en torno a ésta tecnología en Colombia.

La información encontrada en materia de tendencias en investigación e inversión en torno a la biotecnología, evidencia la existencia de ocho variables sociales y ambientales globales, que incidirán en la futura demanda de productos y servicios biotecnológicos. Éstas son: 1) El cambio climático; 2) La seguridad energética; 3) La necesidad de crear

nuevos empleos; 4) La seguridad alimentaria y la hambruna global; 5) El incremento en la producción de desechos; 6) La demanda global de materias primas; 7) El crecimiento poblacional; y 8) Problemas de salud pública relacionados con enfermedades infecciosas y degenerativas (OECD, 2011) (ver Tabla 12).

Tabla 12. Tendencias internacionales en biotecnología

Tendencias internacionales en biotecnología				
Factor social/ ambiental (Problemática)	Explicación de necesidad de mercado	Mercado asociado	Tipo de biotecnología	Demanda prevista
Cambio climático	La relevancia que ha adquirido esta problemática en la agenda global y la magnitud de las consecuencias que conlleva, insinúa en la necesidad mundial de desarrollar energías derivadas de fuentes no fósiles que contribuyan a disminuir las emisiones de CO ₂ . Organismos internacionales como las Naciones Unidas advierten que el crecimiento económico de los países previsto para las próximas décadas “significará un incremento del 80% de las emisiones de CO ₂ . que deberá compensarse con el desarrollo de tecnologías limpias” (OECD,2013,26)	Biocombustibles	Biotecnología blanca (Industria)	<p>El congreso de los Estados Unidos ha definido como meta para el 2022 hacer uso de “al menos 36 billones de galones de combustible hechos con biomasa, haciendo uso de forma principal de biocombustibles material celulósico”, que como efecto secundario contribuiría a la reducción de emisiones de CO₂ (USDA, 2010) (OECD, 2013, 27).</p> <p>Japón “planea reemplazar 3.14 millones de barriles de petróleo usado para transporte por año con bioetanol “ (OECD, 2013,64)</p>

<p>Seguridad energética</p>	<p>A pesar de la actual tendencia a la baja de los precios del petróleo, el FMI prevé una tendencia alcista en el mediano y largo plazo (OECD, 2013, 27). De forma complementaria a los factores económicos, razones de carácter geopolítico y de proyecciones de escasez de éste recurso energético, configuran un escenario de inseguridad energética para la mayor parte de los países importadores de crudo (p. 27). Esta condición ha incentivado que tanto en Europa como los Estados Unidos hayan desarrollado en años recientes una sofisticada política de fomento a los biocombustibles (p.27).</p> <p>Japón, el tercer mayor consumidor de petróleo en el mundo después de los Estados Unidos y China (OECD, 2013, 64), y posterior a la crisis de petróleo de los años 70, se ha embarcado en la ejecución de proyectos de alcance nacional para el desarrollo de biocombustibles e incremento en la producción de bioetanol (p.64)</p>	<p>Biocombustibles</p>	<p>Biotecnología blanca (Industria)</p>	<p>El congreso de los Estados Unidos ha definido como meta para el 2022 hacer uso de ‘al menos 36 billones de galones de combustible hechos con biomasa naciendo uso de forma principal de biocombustibles material celulósico’, que como efecto secundario contribuiría a la reducción de emisiones de CO2 (USDA, 2010) (OECD, 2013, 27).</p> <p>Japón “planea reemplazar 3.14 millones de barriles de petróleo usado para transporte por año con bioetanol “ (OECD, 2013,64)</p>
<p>Creación de nuevos empleos</p>	<p>En el conjunto de los mayores desafíos globales que enfrentaran los gobiernos durante las próximas décadas se encuentra la creación de nuevos trabajos productivos, para una creciente masa laboral. La falta de disponibilidad de empleos productivos se ya afecta tanto a países del desarrollados como en desarrollo Este desafío es mayor para esta última categoría de países en la medida que concentran el 73% de la población en capacidad de trabajar del mundo, y solo un 14% en los países de economías altamente industrializadas (Organización Internacional de Trabajo, 2008).</p>	<p>Biocombustibles</p>	<p>Biotecnología blanca (Industria)</p>	<p>En los Estados Unidos, la política federal de apoyo al desarrollo de combustibles generó 240.000 empleos adicionales y una contribución de USD\$ 65 millones al PIB en el 2008 (Carr et al., 2010). En Brasil el programa de fomento al etanol contribuyó a la generación de aproximadamente 1.000.000 de empleos adicionales en el 2007 (OECD, 2013,26)</p>

<p>Seguridad alimentaria y hambruna mundial</p>	<p>La creciente demanda de biocombustibles afecta la destinación de alimentos y biomasa para producción energética en detrimento de satisfacer la demanda alimentaria de países en desarrollo, afectando de forma simultánea los precios de los alimentos en naciones con tasas significativas de pobreza. Esta situación desarrolla la necesidad de producir biocombustibles provenientes de biomasa que no compita con la seguridad alimentaria en países pobres y en desarrollo (CEPAL, 2001, 21) Esta problemática incrementa la demanda de biocombustibles de segunda generación basados en materias primas linocelulísticas, especialmente no derivadas de cultivos alimenticios. En las alternativas en estudio se encuentran los biocombustibles derivados de algas. Estos sin embargo, aún presentan problemas de costo vs productividad y otros desafíos técnicos que obstaculizan la posibilidad de alcanzar escalas comerciales (OECD, 2013, 31).</p>	<p>Biocombustibles de segunda generación</p>	<p>Biotecnología blanca (Industria)</p>	<p>La demanda de biocombustibles de segunda generación guarda relación con las cifras de demanda de biocombustibles mencionada anteriormente.</p> <p>Por otro lado, se prevé que el mercado de semillas genéticamente modificadas alcanzará un valor que excederá los US\$ 112 billones para el 2020 consecuencia de un incremento en la demanda (Inquirier.net, 2015) No obstante, el mercado de semillas GM presenta importantes barreras de entrada, debido a la estructura oligopólica que lo configura.</p> <p>El 50% del mercado global de semillas GM esta concentrado por 4 empresas, porcentaje del que para el 2011, Monsanto concentraba el 20% (TransparencyMarket Research, 2015).</p>
---	---	--	---	---

<p>Producción de desechos</p>	<p>Estimaciones revelan que a nivel global se desechan a diario un millón de celulares, diez millones de vasos plásticos, un millón de botellas plásticas y diez millones de bolsas plásticas, cuyos materiales de fabricación no se recuperan (Ravenstijm, 2010).</p> <p>Alemania, Francia, Italia, Irlanda, Dinamarca, Suecia, Reinos Unidos, Estados Unidos, Canadá, Japón y Australia y Bangladesh, han desarrollado marcos regulatorios que incentivan el consumo de empaques y bolsas plásticas biodegradables y que a su vez, imponen impuestos a los de tipo no biodegradable (OECD, 2013,34) (Bailus, 1989, 490).</p>	<p>Bioplásticos</p>	<p>Biotecnología blanca (Industria)</p>	<p>Con una tendencia a mayores dificultades para encontrar petróleo y los problemas de biodegradación del plástico actualmente utilizado, se estima que la demanda de bioplástico tendrá un importante crecimiento en las próximas décadas (OECD,2013,33)</p> <p>Se estima que la demanda de plásticos crecerá en 250.000 kilotoneladas por año, cantidad que demandaría el 25% de la producción actual de petróleo (OECD,2013,33).</p>
<p>Demanda global de materias primas</p>	<p>La creciente demanda de materiales biodegradables, de biocombustibles, y alimentos, entre otros, deberá satisfacerse evitando el desarrollo de nuevos conflictos ambientales y socioeconómicos, asociados al incremento de tierra usada para la producción de biomasa, y de fuentes de biomasa que compitan con la seguridad alimentaria de las poblaciones</p>	<p>Servicios de bioinformática y biología computacional</p>	<p>Biotecnología verde (Agricultura) Biotecnología gris (Medio Ambiente)</p>	<p>El mejoramiento genético orientado a incrementar la productividad de la ésta será de gran relevancia (OECD, 2013,27).</p>

<p>Crecimiento poblacional</p>	<p>Se estima que para el 2030 el 97% del crecimiento poblacional se concentrará en países en desarrollo. El impacto de éste fenómeno se reflejará en el incremento del uso de hectáreas de tierra para agricultura, incremento en la demanda de alimentos, de consumo de agua, en la generación de desechos, en los precios de los alimentos y en la demanda de combustibles (OECD, 2009).</p>	<p>Agricultura, biorremediación-procesamiento químico de aguas, biocombustibles</p>	<p>Biología verde (Agricultura) Biología blanca (Industria) Biología gris (Medio Ambiente)</p>	<p>“Se espera que el mercado de tecnologías de biorremediación tenga un admirable crecimiento debido a la creciente preocupación en temas de seguridad y protección ambiental... así como, más estrictas regulaciones emitidas por los gobiernos, las políticas e iniciativas de restauración ambiental que están incentivando de forma progresiva popularidad de tecnología de biorremediación basadas en biología. En efecto, tecnologías de biorremediación como las de bioaumentación y bioestimulación están ganando una amplia aceptación e interés debido a sus capacidades de restauración” (TransparencyMarket Research, 2013).</p>
--------------------------------	--	---	--	--

<p>Problemas de salud pública relacionados con enfermedades infecciosas y degenerativas</p>	<p>En la mayoría de casos se trata de enfermedades irreversibles que hacen necesario el desarrollo de vacunas, insulina, anticuerpos monoclonales, genéricos y medicamentos de marca (Bailus, 1989, 490).</p>	<p>Biofármacos y bioservicios en el área de la salud</p>	<p>Biotecnología roja (Salud)</p>	<p>El nicho de la biofarmacia corresponde al mayor segmento de mercado de la biotecnología, representando aproximadamente el 60% del total de los ingresos en 2013 (ResearchandMarkets, 2013).</p> <p>El creciente gasto en salud en mercados emergentes como el de la India, China y Brasil son algunos de los factores que inciden en el crecimiento del mercado de la biofarmacia. Se espera que la principal demanda asociada al mercado de la biofarmacia con el outsourcing de procesos de investigación con el objetivo de reducir los costos en los procesos de I+D. (ResearchandMarkets, 2014).</p>
---	---	--	-----------------------------------	--

Fuente: elaboración del autor.

La información recopilada sugiere que los principales mercados que jalonarán en las próximas décadas la demanda de bienes y servicios biotecnológicos, se relacionan con:

1. Insumos industriales que sirvan como fuentes alternativas de energía, que no compitan con el suministro de biomasa necesaria para garantizar la estabilidad de los precios de los alimentos en países en desarrollo, y que a su vez, contribuyan a disminuir las emisiones de dióxido de carbono.
2. Insumos plásticos no dependientes de petróleo para su fabricación con propiedades de rápida biodegradación.
3. Servicios que incrementen la productividad del sector agrícola.
4. Servicios de remediación de daños ambientales.
5. Desarrollo de biomedicamentos para enfermedades contagiosas y degenerativas.
6. Tercerización de bioservicios para el sector salud.

Esta información permite inferir que la mayor parte de la demanda laboral a nivel global para profesionales que trabajan sobre la biotecnología, se relacionará con las dinámicas de los mercados anteriormente mencionados.

3.2 Temas de debate internacional en torno a la biotecnología

Las políticas de fomento de capital humano en cuanto a la biotecnología deben, asimismo, considerar las temáticas de debate internacional. Los escenarios de discusión mundial arrojan información sobre posibles futuros estímulos o restricciones a mercados actualmente en funcionamiento, dependiendo de variables de distinta índole como puede ser la creciente aceptación o preocupación de temas específicos en la agenda política global.

En relación con la biotecnología, y de manera especial en el trascurso de la última década, científicos y empresarios han advertido sobre los riesgos y desafíos, de orden ético, ambiental, sanitario y socioeconómico, que plantea el avance de la tecnología aplicada en las ciencias biológicas (Larach, 2001). En la actualidad, permanece el debate de los efectos de la biotecnología moderna en los cultivos y alimentos sobre sus impactos en la agricultura, el medio ambiente y la salud humana (Larach, 2001). En general, a nivel global persiste el desarrollo de dos corrientes de opinión: una de apoyo a la tecnología especialmente soportada por productores y distribuidores. Por otro lado, una de rechazo sostenida principalmente por consumidores y ambientalistas (Larach, 2001).

Las discusiones éticas se relacionan de manera principal con la propiedad y el uso de conocimientos de comunidades indígenas. De igual modo, con la distribución de los beneficios derivados de desarrollos biotecnológicos realizados de forma conjunta con empresas privadas (Larach, 2001, p.11). Los debates ambientales se asocian a riesgos de reducción de la biodiversidad e impacto en el equilibrio biológico, desarrollo de hierbas silvestres resistentes al uso de insecticidas o enfermedades que puedan desequilibrar el ecosistema y contaminar cultivos tradicionales con material genéticamente modificado (Larach, 2001). Se discute de igual modo, sobre el consumo de alimentos transgénicos que puedan provocar riesgos en la salud, relacionados con la transferencia de toxinas o compuestos alergénicos, creación de nuevas toxinas o aparición de reacción alérgicas no sospechadas (Larach, 2001). En cuanto a la seguridad alimentaria, existe controversia sobre el manejo de la propiedad intelectual y las dinámicas de comercialización de semillas genéticamente modificadas (Larach, 2011).

Otros resultados desfavorables están vinculados con el desprendimiento de microorganismos en la tierra que pueden generar cambios bioquímicos e impactos en el equilibrio del ecosistema (Larach, 2001). Por otro lado, con cambios socioeconómicos en los países menos desarrollados, al desplazar mano de obra de sus principales

actividades económicas y poner en riesgo la fuente subsistencia de una parte importante de la población que depende del manejo de cultivos tradicionales (Larach, 2001). Como consecuencia, en la actualidad las regulaciones para la importación de alimentos genéticamente modificados van desde limitaciones al acceso hasta prohibiciones directas a la entrada a los mercados. Así mismo, está latente el peligro de que surjan nuevas regulaciones por motivos de seguridad alimentaria, ante la presión de los consumidores y defensores del medio ambiente (Larach, 2001).

La sensibilidad que despiertan los anteriores puntos en la opinión pública respecto a los desarrollos biotecnológicos, ha llevado a plantear la “necesidad de que los científicos realicen mayores esfuerzos en el área de investigación para hacer una evaluación objetiva e imparcial de sus impactos” (Larach 2001, p.12). Así mismo, adquiere mayor relevancia la bioética, que propende por proteger la integridad de los recursos biológicos de las naciones (agricultura, biodiversidad y servicios ecosistémicos), la salud de los consumidores y busca que se tenga en consideración los eventuales efectos socioeconómicos puedan generarse a través de la aplicación de la biotecnología en la agricultura de los países en desarrollo (OECD, Towards Green Growth with Biotechnology-Biotechnology Update-Internal Co-ordination Group with Biotechnology [ICGB], 2013). En general, se ha comenzado a afirmar que el desarrollo de la biotecnología debe cumplir con criterios de sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor, en términos técnicos, económicos, ambientales y sociales (OECD, Future Prospects for Industrial Biotechnology, 2011).

3.3 Benchmarking de estrategias internacionales para la formación de capital humano en biotecnología

Las experiencias de formación de capital humano en biotecnología de los Estados Unidos, España, Francia, Singapur, Corea del Sur, Malasia, Brasil y México, que pertenecen al conjunto de países con mayor desarrollo de empresas relacionadas con esta tecnología (OCDE, 2013), aportan elementos de aprendizaje para el caso colombiano. En las estrategias implementadas por éstos países destaca la realización de un análisis de la oferta y la demanda educativa; la identificación de campos específicos de trabajo para focalizar esfuerzos y recursos; el uso de dinámicas de internacionalización; el desarrollo de criterios de selección de instructores y docentes; la construcción de indicadores de evaluación de impacto; y el desarrollo de incentivos económicos para la fomentar la absorción laboral de capital humano altamente calificado, entre otros. La **Tabla 13** resume las estrategias implementadas por los países en mención.

Tabla 13. Estrategias implementadas para la formación de capital humano en biotecnología por países referentes a nivel global en ésta área de la ciencia

País	Estrategia empleada para formar capital humano en biotecnología
EE.UU.	<p>Basados en los postulados de Zucker, Darby & Brewer en 1994 frente a la formación en Estados Unidos, podemos resaltar:</p> <p>“Fortalecimiento de la investigación aplicada e incremento de la inversión en transferencia tecnológica” (Zucker, 1994, p.38).</p> <p>Conformación de equipos de trabajo de acuerdo con su capital intelectual y conocimiento de frontera en temas específicos (Zucker, 1994).</p> <p>“Creación de organismos que asesoren al gobierno en materia de formación de capital humano (Zucker, 1994, p.40)</p>
España	<p>La fundación española para el Desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica en el 2004, propone las siguientes estrategias respecto a la formación:</p> <p>“Realización de un análisis previo de necesidades de formación”. (España, 2004, p.99)</p> <p>Análisis de las necesidades detectadas con relación a la oferta educativa existente (España, 2004, p.99).</p> <p>Realización de análisis sobre cómo la formación podía afectar el modelo de negocio (España, 2004, p.103).</p> <p>Diferenciación de las necesidades de formación dependiendo del ciclo de vida de las empresas existentes (España, 2004, pp.106-109).</p> <p>Realización de mesas de trabajo con representantes de todos los sectores para seleccionar temas críticos de formación (España, 2004, p.8).</p> <p>Priorización de la formación impartida en las necesidades detectadas (España, 2004, p.8).</p> <p>Desarrollo de contenidos académicos en colaboración con otros centros educativos (España, 2004, p.102).</p> <p>Definición de criterios para seleccionar a los consultores e instructores (España, 2004, p.102).</p> <p>Orientación de la formación a mejorar la competitividad y capacidad de innovación y capacidad de exportación de las empresas (España, 2004, p.109).</p>

<p>España</p>	<p>Desarrollo de mecanismos virtuales de formación para facilitar la masificación de la formación especialmente para las empresas (España, 2004, p.116). Desarrollo de indicadores para auditar la calidad y el impacto de la formación impartida y comparar con los resultados esperados (España, 2004, p.102).</p>
<p>Francia</p>	<p>Basados en la propuesta del Conseil Executive Research (CDG) en Francia en el 2015, plantea: Fortalecimiento de la educación y la capacidad de trabajo interdisciplinario (CDG, 2015). Fortalecimiento no solo la educación científica sino no científica (CDG, 2015). Mejoramiento de la formación en: la búsqueda de financiación, planes y desarrollo de negocios, gestión de la propiedad intelectual, realización de contratos, asuntos reglamentarios y marketing (CDG, 2015).</p>
<p>Malasia</p>	<p>En Malasia son importantes los planteamientos hechos por la <i>known as Malaysian Biotechnology Corporation Sdn Bhd</i> en el 2009: “Desarrollo de programas de posgrados competitivos a nivel internacional” (BiotechCorp, 2009, p.9) Desarrollo paralelo y simultáneo de la industria y el capital humano (BiotechCorp, 2009, p.24). Incremento del número de investigadores de tiempo completo (BiotechCorp, 2009, p.30). Dedicación de la mayor parte de los investigadores a la industria (BiotechCorp, 2009, p.32).</p>
<p>Singapur</p>	<p>Basados en los postulados del profesor AAhad M. Osman-Gani en el 2004, podemos resaltar: Otorgamiento de becas para estudiar en las mejores universidades del mundo y en los temas en los que el país busca ser líder a nivel internacional (Osman-Gani, 2004, p.46). Fortalecimiento de los vínculos con científicos de renombre internacional (Osman-Gani, 2004, p.46).</p>

<p>Corea del Sur</p>	<p>Otorgamiento de subsidios a los programas de formación de las empresas (Hazar-Strateji-Enstitüsü, 2015). Desarrollo de escuelas de formación y programas vocacionales según las necesidades de las empresas para exportar (Hazar Strateji Enstitüsü, 2015). Desarrollo de centros de investigación especializados (Hazar Strateji Enstitüsü, 2015).</p>
<p>India</p>	<p>Algunas estrategias desarrolladas en la India, son mencionados en un artículo de AsiaBiotech: Creación de una amplia oferta de programas. (AsiaBiotechCorp, 2009, p.946) Incremento de la masa de graduados y científicos en estas áreas (AsiaBiotechCorp, 2009, p.946). Financiación especial para el décimo plan quinquenal (AsiaBiotechCorp, 2009, p.946). Exploración de opciones variadas para financiar la educación superior (AsiaBiotechCorp, 2009, p.947).</p>
<p>Brasil</p>	<p>Reducción de las restricciones burocráticas para la investigación (BioTechNow, 2011) . Desarrollo de incentivos para fomentar la colaboración entre la academia y las empresas (BiotechNow, 2011). Identificación de oportunidades de colaboración con otros países (OECD, Brasil Biotec-Brazilian Biotech Association, 2015).</p>
<p>México</p>	<p>Fortalecimiento de la cooperación internacional en ciencia y tecnología (Corona, 2009, p.149). Desarrollo de programas de movilidad como el mecanismo de mayor importancia para la generación de efectos de spill over (Corona, 2009, p.166). Creación de líderes internacionales en temas específicos (Corona, 2009, p.172). Promoción de áreas estratégicas de conocimiento (Corona, 2009, p.149). Desarrollo de mecanismos para acceder a cursos internacionales (p.190). Intercambio de investigadores con centros internacionales (Corona, 2009, p.261). Búsqueda de patrocinadores internacionales (Corona, 2009, p.264).</p>

Fuente: elaboración de los autores con base en la información consultada.

En los países estudiados la internacionalización adquiere relevancia en el proceso de formación de capital humano en biotecnología, para: 1) Incrementar la movilidad de docentes e investigadores con el objetivo de desarrollar periodos prolongados de tiempo de trabajo conjunto con actores nacionales; 2) Incrementar la movilidad de estudiantes para ser formados en universidades de referencia mundial y las posibilidades de acceder a becas educativas; 3) Desarrollar interacciones y alianzas estratégicas con investigadores, centros de investigación y laboratorios de alto nivel; 4) Desarrollar proyectos de forma conjunta con actores internacionales; 5) Explorar posibilidades de incubación de empresas de forma conjunta con actores extranjeros; 6) Fortalecer los canales de transferencia de tecnología de la que el país carece, de información altamente especializada y know-how; 7) Acceder a recursos de financiación externos; 8) Trabajar con expertos internacionales en problemas y necesidades nacionales y con proyección global; 9) Facilitar procesos de acceso a conocimiento sobre buenas prácticas educativas; y 10) Desarrollar programas educativos competitivos a nivel internacional, entre otros. Estos usos han sido igualmente reconocidos por expertos en biotecnología que trabajan en Colombia (CBBC, 2014).

3.4 Estrategias internacionales para fomentar el conocimiento en torno a la biotecnología

La posibilidad de acceder a información con conocimiento de vanguardia incide en la productividad del capital humano y de manera especial de aquel que se desempeña en campos de trabajo altamente especializados y dinámicos como lo es el de la biotecnología. En torno a esta tecnología, la tendencia a proteger la información mediante instrumentos de propiedad intelectual, genera un efecto de exclusión para potenciales usuarios, y con ello, importantes asimetrías de conocimiento entre las comunidades científicas, y de manera especial entre las de países desarrollados y en vía de desarrollo.

Ante ésta situación, la tendencia global sobre procesos de investigación en las ciencias de la vida, se dirige hacia la creación de redes de trabajo colaborativo que desarrollan sistemas de gobernanza que determinan el acceso y el uso de información científica (OECD, 2013). En las últimas décadas estos escenarios han proliferado tanto en los Estados Unidos como en la Unión Europea, y en países en desarrollo como la India, que buscan adquirir un aprendizaje al vincularse en procesos de trabajo conjunto con referentes internacionales (OECD, 2013).

Otra razón que incentiva la participación en éste tipo de redes se debe a que la mayor parte de la comercialización de la investigación sucede en estos escenarios en los que es frecuente la vinculación de “estrellas de la investigación”. Su presencia además afecta la posibilidad de atraer capital de inversión (OECD, 2013). En general, al interior de éstas comunidades “se convierte en un objetivo común el apalancamiento de iniciativas de innovación” (OECD, 2013, p.16). Hacer parte de ellas, permite comprender las fuerzas que en muchas ocasiones conducen a procesos de creación de conocimiento, nuevos productos y servicios.

A su vez, vincularse mejora la relación de costo-efectividad de los procesos de investigación, puesto que en estos espacios institucionales se agrupan elementos de información, infraestructura, capital humano altamente especializado, entre otro tipo de activos intelectuales, que “simplifican los procesos de aprendizaje al permitir el acceso a información, que con frecuencia se encuentra altamente dispersa, así como, el explotar experticia externa” (OECD, 2013, p. 16). Es en este último argumento recae la importancia de que los hacedores de política pública fomenten la participación en los mercados y redes globales de conocimiento en torno a la biotecnología (OECD, 2013).

3.5 Análisis de actores estratégicos para la formación de capital humano a nivel internacional

La tendencia internacional a desarrollar investigación a través de redes de trabajo colaborativo, supone la necesidad de identificar actores globales estratégicos. En las etapas iniciales el objetivo de éste ejercicio se orienta a iniciar procesos exploratorios de articulación de capacidades y esfuerzos. Con ello posteriormente, fortalecer el conjunto de herramientas para formar capital humano, mejorar los escenarios y dinámicas de investigación, desarrollo, transferencia y comercialización del conocimiento.

En materia de biotecnología algunos de estos actores se asocian al conjunto de países referentes a nivel mundial en el desarrollo de ésta tecnología: 1) Los Estados Unidos; 2) España; 3) Francia; y 4) Corea de Sur (OECD, 2013). Países respecto a los cuales, Colombia presenta considerables asimetrías en cuanto a capacidades de investigación y desarrollo tecnológico. Esta situación hace necesario y pertinente considerar, además, como países estratégicos aquellos que, de igual modo, hacen parte del conjunto de referentes internacionales, pero que presentan condiciones de desarrollo relativamente homogéneas a Colombia al ser países en desarrollo: 1) Brasil; 2) México; e 3) India (OECD, 2013). Esta identificación inicial, sin embargo, no excluye posibilidad de identificar potenciales aliados estratégicos que escapen a los países en mención, y que puedan ser considerados en función de su experticia en un área de conocimiento o técnica específica de trabajo. El proceso de identificación abarca la selección de potenciales universidades, laboratorios y empresas estratégicas, que puedan ofrecer a los actores del departamento de Caldas la posibilidad de participar en procesos de aprendizaje.

Al respecto, algunas de las instituciones académicas identificadas en torno a la biotecnología se mencionan en la **Tabla 14** y **Tabla 15**:

Tabla 14. Universidades y centros de biotecnología en países desarrollados referentes a nivel mundial en torno a ésta área de la ciencia

País	Universidad	Programas/Cursos	Centros de biotecnología
Estados Unidos	• Harvard University, Cambridge USA-	<p>Cursos de verano:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introduccción a la bioinformática 2. Proseminario: Métodos de Investigación y escritura académica en biotecnología 3. Descubrimiento de medicamentos, Diseño de proyectos y Gerencia 4. Investigación en ensayos clínicos 5. Conceptos básicos de la biotecnología 6. Bioinformática: Fundamentos de análisis de secuencias 7. Desarrollo de productos biométicos 8. Biomateriales en medicina sustitutiva. 10. Introducción a la nanobiotecnología: conceptos y aplicaciones 11. Ingeniería de tegidos para aplicaciones clínicas 	
	• Columbia University	1. Maestría en biotecnología	
	• Purdue university	1. Maestría en innovación de biotecnología y regulación científica	
	• University of Wisconsin, Madisson	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maestría en biotecnología 2. Pregrado en genética 3. Doctorado en bioquímica 4. Doctorado en ingeniería biomédica 5. Doctorado en química biomolecular 6. Doctorado en biociencias comparativas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centro de biotecnología de la Universidad de Wisconsin-Madison 2. Laboratorio de genética
	• University of Pennsylvania, Philadelphia USA	1. Maestría en biotecnología	
• University of California, San Diego USA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pregrado en biotecnología 2. Pregrado en bioingeniería: bioinformática 3. Certificado en gerencia de proyectos de biotecnología 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Departamento de Biotecnología 2. Departamento de bioingeniería 3. Centro para biotecnología de algas de California 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Johns Hopkins University, Baltimore USA 	<p>Postrados en:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bioinformática 2. Biotecnología 3. Empresas biotecnológicas y emprendimiento <p>Programa certificado en:</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Educación en biotecnología 6. Empresas biotecnológicas 7. Análisis de secuencias y genómica <p>Doble programa en:</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Biotecnología y MBA 9. Biotecnología y Certificado de estudios en seguridad nacional 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centro para la educación en biotecnología de la Universidad Johns Hopkins
	<ul style="list-style-type: none"> • Stanford Univ USA 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posgrado en biotecnología 2. Cursos On-line en biotecnología 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Cornell 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Doctorado en biología computador 	<p>Instituto de biotecnología de la Universidad de Cornell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Centro de biología molecular Fraunhofer USA • Centro Nacional para Información en Biotecnología-NCBI • Centro de Biotecnología de Carolina del Norte
	Otros:		
España	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Politécnica de Valencia 	<p>Licenciatura en Biotecnología</p> <p>Programa de Doctorado en Biotecnología</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Nacional de Biotecnología • SeBiot-Sociedad Española de Biotecnología de España • Plataforma tecnológica de biotecnología vegetal • Centro de investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP) • Banco Español de Algas - Universidad de las Palmas Gran Canaria • Instituto de biotecnología de la Universidad de Granada • Centro de biotecnología y genómica de plantas - UPM-INIA • Inbiotec - Instituto de Biotecnología de León
	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Autónoma de Barcelona 	<p>Doctorado en Biotecnología</p> <p>Maestría en Biotecnología avanzada</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Málaga 	<p>Maestría en Biotecnología Avanzada</p> <p>Doctorado en Biotecnología</p>	
Francia	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de París (I - XIII) 	<p>Maestría en Procesos, Medio Ambiente y Biotecnología</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Grenoble graduate school of business 	<p>Maestría Avanzada en Gerencia en Biotecnología y farmaceutica</p> <p>Maestría Especialización en Gerencia de empresas biotecnológicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de excelencia en biotecnologías blancas • Asociación francesa de biotecnologías

Corea del Sur	• Korea University College of Life Sciences and Biotechnology		
	• Yonsei University College of Life Sciences and Biotechnology		
	• Departamento de biotecnología de la Universidad Chonbuk		

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 15. Universidades y centros de biotecnología en países en desarrollo referentes a nivel global en torno a esta área de la ciencia

País	Universidad	Programas/Cursos	Centros de biotecnología
Brasil	Universidad Federal do Paraná	Maestría en bioinformática	
	Universidad de Estado de Amazonas	Maestría en biotecnología y recursos naturales	
	Universidad de Caxias do Sul		Instituto de Biotecnología
	Universidad Federal de Grande Dourados	Doctorado en biotecnología y biodiversidad	
		Maestría en biotecnología industrial	
	Universidad Federal de Bahía del Oeste	Ingeniería en biotecnología	
			CABBIO- Centro Brasileiro • Argentino de Biotecnología
México	Tecnológico de Monterrey	Doctorado en Biotecnología	Centro de biotecnología FEMSA del Tecnológico de Monterrey
	Tecnológico de Monterrey	Maestría en Ciencias con especialidad en biotecnología	
	Instituto Politécnico Nacional	Doctorado en Ciencias en Biotecnología	
	Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM		Instituto de biotecnología

India	Universidad de Teri	Departamento de Biotecnología: Doctorado en Biorecursos y biotecnología Maestría en biotecnología de plantas	Centro para Biorecursos y Biotecnología
			Centro para la Biotecnología Rajiv Gandhi (RGCB)

Fuente: elaborado por el autor

3.6 *Análisis Internacional para HPC*

Antes de adentrarnos en un análisis internacional sobre HPC, es necesario definirlo técnicamente, con el fin de dar al lector las herramientas necesarias para entender el lenguaje que se desprende de este sector. En la siguiente subsección, se define la computación de alto desempeño o HPC y una breve reseña histórica.

3.6.1 *Computación de alto desempeño.*

Usualmente la supercomputación y la computación de alto desempeño se usan como términos indistintos. Cuando se hace referencia a este tipo de máquinas, es importante comprender que si bien utilizan los mismos componentes de los computadores tradicionales (memoria, procesadores, almacenamiento de datos, comunicación y *software*), el aspecto que hace la diferencia radica en la velocidad con la que los supercomputadores procesan y producen resultados. Para lograrlo se aplican técnicas de paralelismo. A través de la que se logran velocidades 100 veces mayores que las aquellas alcanzadas a través de un computador tradicional.

La supercomputación abarca cuatro componentes principales:

- 1. Procesamiento paralelo:** utiliza múltiples Cores por CPU, múltiples CPU's en un solo supercomputador. Un computador tiene un procesador de doble núcleo que le permite realizar cuatro operaciones al mismo tiempo. Un supercomputador puede tener entre 8 y 32 Cores.
- 2. Gran capacidad de memoria:** cada computador cuenta con una memoria con 32, 64, 256 o más gigabytes de memoria, dependiendo de la necesidad de la ingeniería o ciencia.
- 3. Procesador múltiple o comunicación multinodo:** permite que una colección entera de computadores sea usada en una sola aplicación. Un supercomputador podría pasar información de forma simultánea entre más de 25.000 computadores individuales.

4. Sistemas de archivos paralelos: son los encargados de movilizar información entre los nodos del computador y los dispositivos de almacenamiento, usando múltiples canales de forma simultánea en lugar de uno solo.

A nivel internacional la supercomputación ha sido ampliamente usada en países como los Estados Unidos, Reino Unido, Japón, Alemania y Francia. En el conjunto de ámbitos en los que tradicionalmente han sido usados se encuentran:

1. Armamento, investigación e inteligencia militar (EE. UU e Inglaterra).
2. Investigación abierta (EE. UU, Inglaterra, Francia, Alemania y Japón).
3. Ingeniería y física (EE.UU., Inglaterra, Alemania).
4. Sector petrolero (EE.UU., Inglaterra, Alemania).
5. Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales (EE.UU., e Inglaterra).
6. Investigación en reactores nucleares (EE.UU y Francia).
7. Aplicaciones de tiempo compartido (EE.UU y Francia).
8. Energía y poder (EE.UU. y Francia).

3.6.2 Antecedentes de uso de la computación de alto desempeño en la industria global.

En el censo realizado en el año de 1982 en el marco del *Informe del panel sobre la computación a gran escala en la ciencia y la ingeniería*, se reveló que las primeras aplicaciones de la supercomputación en la industria privada iniciaron con usos que en un 42% eran para investigación petrolera, mientras su aplicación en investigación básica se mantenía. Con el tiempo estas máquinas han adquirido la capacidad de impactar de forma significativa las capacidades de investigación en diferentes disciplinas. Otras aplicaciones iniciales se relacionan con la industria automotriz en *Ford Motor Company* haciendo uso del supercomputador de simulación de modelos y análisis de programas para realizar procesos de evaluación de diseño, orientados a reducir costos y mejorar la competitividad de la empresa. Otras aplicaciones se dirigieron al campo de la aerodinámica resolviendo problemas críticos de la aerociencias.

Posteriormente, la computación de alto desempeño adquirió aplicabilidad en proyectos de diferentes áreas entre las cuales, se encuentran la aerodinámica, las ciencias atmosféricas, la hidrodinámica, la física hipersónica, la propulsión, las estructuras mecánicas, la química, la ingeniería eléctrica, la ingeniería geológica, las matemáticas y las ciencias de la vida, entre otras. Consecuencia del amplio espectro de aplicación que ha adquirido el HPC, se afirma “no hay ninguna gran empresa o fabricante que en la actualidad pueda lanzar un producto, sin utilizar modelación y simulación avanzada haciendo uso de supercomputación” (p.18). Estudios revelan que en países desarrollados el 97% de las empresas que han adoptado la implementación de HPC, consideran que actualmente no les sería posible competir o sobrevivir en el mercado sin hacer uso de ésta (IDC, 2014). Como resultado, el apoyo

político al desarrollo de ésta tecnología ha aumentado. Líderes políticos mundiales como George W, Bush y Barak Obama de los EE.UU., Dmitri Medvédev de Rusia, Chung Doo-un de Corea del Sur, han apoyado el incremento de presupuestos destinados a fortalecer las capacidades en HPC. Tendencia que es similar en la Unión Europea y China (IDC, 2014). En general, se evidencia una creciente convicción de que aplicar herramientas y técnicas de HPC, es importante para mejorar la competitividad de las empresas nacionales (IDC, 2014).

Teniendo los conceptos básicos claros en el tema de la supercomputación y una breve reseña histórica, podemos emplazar al lector a un recorrido geográfico de las tendencias del sector en materia de aplicaciones de industria, enfocándonos principalmente en los países europeos, asiáticos y finalmente Estados Unidos, principales actores del sector a lo largo de las últimas décadas. Esto con el fin de identificar hacia donde se está moviendo el mercado tanto en términos de aplicaciones como en términos de formación laboral.

3.6.3 Análisis de las Estrategias y Tendencias Internacionales en computación de alto desempeño.

Europa

En la mayoría de países de Europa occidental, la computación de alto rendimiento obtiene el apoyo para la adquisición y funcionamiento de sus sistemas a través de programas de financiación explícitos o presupuestos universitarios y centros de investigación. Aunque sus esfuerzos varían en términos de estrategias para la adquisición, desarrollo y crecimiento de dichos, países como Alemania, Francia, Reino Unido, Noruega entre otros, concuerdan en programas integrales en HPC y apoyo financiero sustancial para la investigación y el desarrollo del mismo.

En Alemania, por ejemplo, proyectos como el D-GRID y la iniciativa de *software* en HPC “IKT 2020 Förderprogramm”, buscan impulsar las competencias en piezas de *software* de simulación orientadas a la ingeniería asistida por computadora. Esto es, todo programa informático que permita analizar y simular diseños de ingeniería realizados en un computador, con el fin de optimizar su desarrollo minimizando costos de fabricación, y pruebas de calidad. Debido a la complejidad del campo, diversos esfuerzos y cooperaciones han sido establecidos con el fin de atraer personal calificado en el campo de simulación de interés, matemáticos, físicos e ingenieros en ciencias de la computación (D-GRID, 2015).

En el caso de Francia, la creación de comités como el CSCI (*le Comité Stratégique du Calcul Intensif*) a cargo del GENCI (GENCI, 2015) (*Grand Equipement National de Calcul Intensif*) (GENCI, 2015), el proyecto “Cosinus” de la agencia nacional de investigación ANR (ANR, 2015), entre otras iniciativas que comprenden los clústeres de competitividad franceses. Han enfocado sus iniciativas en la investigación de nuevos materiales, la industria aeroespacial, y la salud.

En Reino Unido, iniciativas promovidas por los consejos británico de investigación, la Oficina de Ciencia y Tecnología (OST) y el consejo de ingeniería y ciencias físicas EPSRC, están a cargo de coordinar todas las actividades y cooperaciones en HPC entre la academia y la industria bajo el programa HEC (*High End Computing Initiative*). Los cuales están enfocados principalmente a proyectos en las temáticas climáticas, energía, la industria automotriz y la salud (Sawyer, 2011).

Finalmente, otros esfuerzos más pequeños, pero no menos importantes de países como Finlandia, Noruega, Suiza e Italia, denotan el interés de Europa por el uso de HPC para la competitividad.

Asia

La historia de los países asiáticos en HPC comienza en Japón como su principal actor desde la década de los sesenta hasta el año 2000, donde su liderato tecnológico y de superpotencia pasa a manos de China, la nueva potencia emergente de oriente.

En 1966, con una inversión cercana a los 100 millones de dólares, el proyecto *The development of the highly advanced computer*, realizado por el Ministerio de Industria y Comercio (METI); Japón dio su inicio en la apuesta por HPC de la mano de sus principales fabricantes en hardware como Hitachi, NEC, Fujitsu, Toshiba, Mitsubishi, entre otros. Su uso, como capital de investigación hasta mediados de los noventa, se concentró principalmente en la inclusión de aplicaciones asistidas por computador en los procesos industriales de la industria con el fin de abaratar costos y tiempo.

El caso de China, mucho más joven que Japón en términos de HPC, ha enfocado sus esfuerzos principalmente en industrias locales, problemas urbanos y el manejo del tráfico vehicular en las grandes ciudades, las cuales son el principal motor de la economía. Finalmente, China es un propulsor del uso de *Cloud* con el fin de hacer más accesible la HPC a la ciencia y la industria.

Casos como el de Corea del Sur y su departamento de administración meteorológica, *Australia*¹⁵ con su clúster de investigación en sistemas petascale, cierran el panorama asiático en términos de uso y explotación de la HPC.

Por último, queremos hacer mención especial al caso de la India como país en vía de desarrollo, cuyo modelo de HPC, parte en principio, del fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y de la información hacia el enfoque de HPC en áreas estratégicas de la India, como lo son las ciencias atmosféricas, las aplicaciones CAE y la biología computacional entre otras (CDAC, 2015).

¹⁵ Australia hace parte de Oceanía, pero si incluyó en este apartado debido al uso y explotación de la HPC en este territorio.

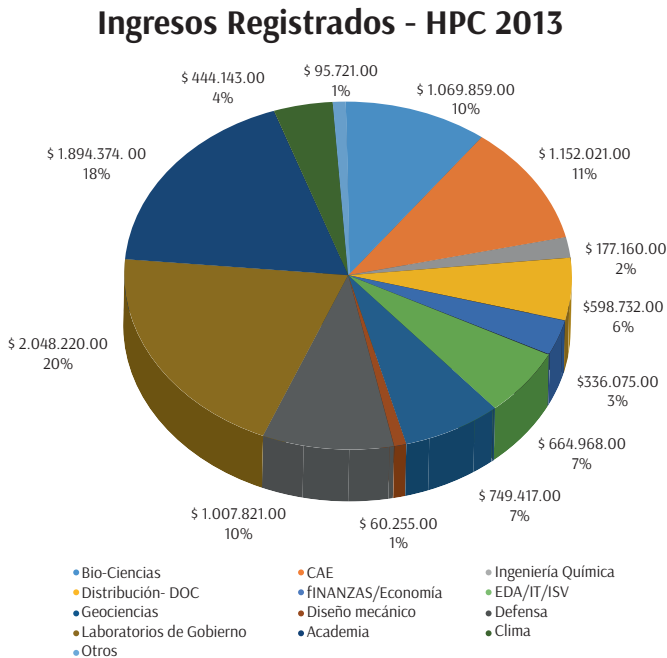
Estados Unidos

Como pionero en HPC, Estados Unidos de América, cuenta con los dos tipos mayores de entidades de supercomputación: los laboratorios gubernamentales orientados a misiones específicas, y los centros de investigación abierta. Ambos tipos son financiados por distintas entidades como el Departamento de Energía (DOE) y la Asociación Nacional de Ciencias (NSF). En el campo privado, compañías que hacen uso intensivo de estas, están presentes en varios campos, incluyendo los nombrados anteriormente, empezando desde la defensa, pasando por las ciencias biológicas y la bioinformática, hasta las ciencias sísmicas. Debido a la propiedad de la información, aquí se presenta un vistazo del caso americano en HPC, el cual, de requerir información adicional, sería necesario un permiso explícito de industria.

3.6.4 Distribución de la computación de alto desempeño con base en sus mercados de aplicación.

Ya conocidos los actores principales a nivel geopolítico en esta temática, pasaremos a revisar las tendencias del sector en términos de ingresos. Esto brindará una primera vista sobre el estado actual del mercado y hacia dónde se dirige (ver Ilustración 40).

Ilustración 40. Resumen de ingresos en 2013 en billones de dólares USD para la industria HPC por campos de aplicación

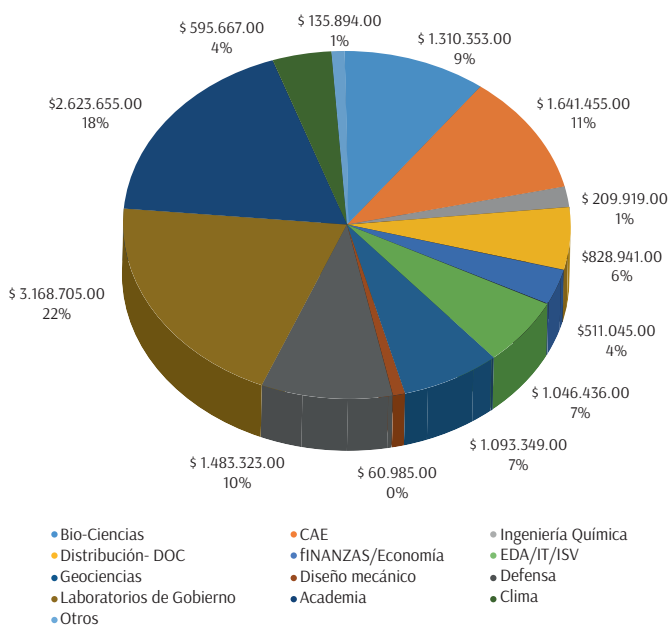


Fuente: elaborado por el autor con base en información de IDC (2014).

La figura anterior revela la proporción de cada actividad con respecto a los ingresos totales para el año fiscal 2013 del sector HPC (aprox. ~\$10 billones. Concentrando un 69% de la inversión en sólo cinco campos, estos son: los laboratorios gubernamentales y la academia, las aplicaciones asistidas por computador CAE, las aplicaciones en bio-ciencias y la academia, las aplicaciones asistidas por computador CAE, las aplicaciones en bio-ciencias y defensa). Para el 2018, las estimaciones de mercado no presentan mayores cambios en cuanto a focos de inversión en HPC. Pasando de un 69% anterior a un 70% en cuanto a principales sectores de inversión para un tamaño de mercado de 14 billones de USD (ver **Ilustración 41**).

Ilustración 41. Proyección de ingresos a 2018 en billones de dólares USD de la industria HPC por campos de aplicación

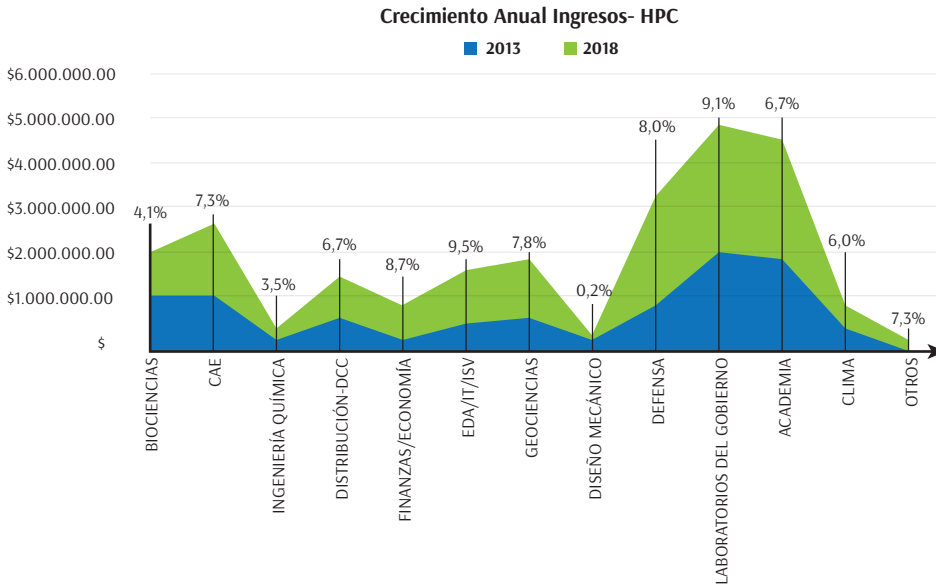
Ingresos Estimados - HPC 2018



Fuente: elaborado por el autor con base en información de (IDC, 2014).

Aunque el mapa de ingresos nos revela que los principales campos de aplicación de la industria HPC se mantendrán como actores principales en un futuro, un análisis adicional mediante la tasa de crecimiento anual compuesto TCAC, también conocida como CAGR, evidencia que si bien hay un conjunto dominante de inversión con crecimientos mayores al 10%, todas los sectores de inversión crecen (ver **Ilustración 42**), demostrando la salud del sector HPC y su papel preponderante para la competitividad de los países desarrollados, y a su vez la pertinencia de este estudio hacia el desarrollo de las competencias y formación laboral en este campo en Colombia.

Ilustración 42. Análisis de los ingresos en HPC mediante tasa de crecimiento anual TCAC



Fuente: elaborado por el autor con base en información de (IDC, 2014).

3.6.5 Actores Internacionales Estratégicos en Computación de Alto Desempeño.

A nivel internacional existen más de 500 centros de computación de alto desempeño dedicados a temas diversos, muchos de los cuales trabajan en diferentes áreas de conocimiento y aplicación de forma simultánea. Un gran número de aquellos que componen el ranking en mención, evidencian el desarrollo de proyectos y una oferta de servicios en ámbitos trabajo que podrían ser de interés del país. Algunos de éstos se mencionan en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Muestra de centros de computación de alto desempeño referentes a nivel internacional que abordan temas de interés para Colombia

Área	Centro	País	Descripción
Agricultura	Centre for Agricultural Bioinformatics (CABin)	India	Su misión es proveer soporte computacional para investigaciones en biotecnología para la agricultura
	Center for Biosaline Agriculture (ICBA)	Abu Dhabi	Se orienta a la investigación aplicada para la mejora de la productividad y la sostenibilidad de la agricultura en ambientes salinos y marginales en el medio oriente; evaluación de recursos hídricos, suelos y cultivos; y restauración de suelos degradados
	National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture NERCITA	China	Uso de computación para el desarrollo y sostenimiento de la agricultura local
Ingeniería Asistida por Computador	Gauss Center for Supercomputing	Alemania	Aplicaciones en multifísica, dinámica de fluidos y simulaciones numéricas de modelos de turbulencia
	The Research and Technology Computing Center	Francia	Simulación numérica de ecuaciones de difusión, adaptación dinámica de mallas, etc
	Jülich Supercomputing Centre	Alemania	Desarrollo de modelos realistas en física de plasma, cuántica y plegamiento de proteínas
Sísmica	CIMATEC Yemoja	Brazil	Asistencia en actividades en la industria del gas y petróleo
	BP High Performance Computing Cluster	U.S.	Modelamiento de formaciones geológicas y procesamiento de imágenes sísmicas
	RIKEN Advanced Institute for Computational Science	Japan	Usado en simulaciones de terremotos y tsunamis, entre otro
Ciencias de la Vida	The High Performance Computing Center Stuttgart	Alemania	Procesamiento y simulación biomecánica e imágenes de diagnóstico médico
	Texas Advance Computing Center	U.S.	Creación de herramientas para la simulación y estudio de propagación de epidemias; bioinformática, visualización de datos; en total 58 campos de la ciencia.
	Pittsburgh Supercomputing Center	U.S.	Desarrollo de métodos y herramientas en sistemas biomédicos a escala celular y de tejido en sistemas neuronales
Materiales	Lawrence Livermore National Laboratory	U.S.	Estudio de dinámica molecular hacia la búsqueda de las estructuras de átomos, moléculas, sólidos y líquidos
	Oak Ridge Leadership Computing Facility	U.S.	Estudio de aplicaciones de proteínas; modelación climática; predicciones de dióxido de carbono y otro tipo de gases de efecto invernadero; entendimiento de los materiales existentes a la escala más pequeña posible

Fuente: elaboración del autor con base en información del TOP500 en HPC y la revisión de las páginas web de cada centro de Supercómputo.

3.7 Conclusiones

La formación de capital humano debe responder a las necesidades nacionales, así como, internacionales. En éste último ámbito se destaca la expectativa de la creciente demanda internacional de insumos industriales que sirvan como fuentes alternativas de energía, que no compitan con biomasa requerida para garantizar la seguridad alimentaria o que generen procesos de deforestación masiva para su producción; de biopolímeros no dependientes del petróleo y con características notables de biodegradación y no contaminación; de servicios que incrementen la productividad del sector agrícola; de bienes y servicios que aborden las necesidades sociales y ambientales globales de mayor significancia para los próximos cincuenta años; y de biomedicamentos, segmento de mercado que se caracteriza no sólo por ser el de mayor tasa de crecimiento sino también, por presentar el mayor número de barreras de entrada. Por otro lado, con relación a la aplicación de la biotecnología con fines comerciales, el contar con personal experto en temas de bioética, impacto socioeconómico e impactos ambientales asociados a ésta disciplina, adquiere una relevancia creciente.

En las lecciones de aprendizaje de mayor significancia extraídas a partir de las experiencias de algunos de los países más representativos en cuanto a desarrollo del sector biotecnológico, se destacan: el fortalecimiento de la investigación aplicada; la formación de capital humano de acuerdo con las necesidades y el ciclo de vida de las empresas que predominan en el país; la priorización de la formación en necesidades detectadas; la orientación de ésta hacia la innovación y la capacidad de exportación; el fortalecimiento de la capacidad de trabajo interdisciplinario y en redes colaborativas que incluyan al sector productivo desde las etapas iniciales de formación; el desarrollo simultáneo de la industria y el capital humano; el fortalecimiento de las dinámicas de internacionalización y la articulación con actores foráneos estratégicos, entre otras.

En cuanto a la computación de alto desempeño, los casos internacionales denotan la utilidad que tiene esta tecnología para incrementar la productividad en diferentes industrias, y optimizar procesos de solución a problemas urbanos, así como, en investigación y en áreas estratégicas de trabajo. Las tendencias de los mercados internacionales en torno a ésta tecnología, reportan una mayor generación de ingresos por concepto de servicios para laboratorios de gobierno, la academia, la ingeniería asistida por computador -CAE-, las aplicaciones en biociencias y defensa. Finalmente, las proyecciones de ingresos generados en HPC a nivel internacional, mantiene en general a los principales campos de aplicación mencionados anteriormente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS PROSPECTIVO PARA EL PLAN QUINQUENAL EN BIOTECNOLOGÍA, BIOINFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO PARA CALDAS

La prospectiva se considera como el proceso que define una visión conjunta de un futuro posible y las diferentes estrategias necesarias para la consecución de este fin, en un entorno específico y común (Cassingena, 2011). Todo proceso de este tipo debe generar escenarios probables o alternos, con base en las estrategias encaminadas a la consecución de los fines específicos dados en las visiones a futuro. Para que el diseño de escenarios sea válido debe tener las siguientes condiciones.

- Coherencia: el relato debe estar articulado de manera razonable y lógica.
- Pertinencia: los estados previos deben estar articulados al tema principal.
- Verosimilitud: las ideas del relato deben pertenecer al mundo de lo creíble.
- Escenarios Probables: se obtienen a través de las técnicas de *forecasting*, basadas en los principios de previsión, buscan identificar y calificar las tendencias.

Con base en la información obtenida, la construcción del escenario prospectivo fundamentó su desarrollo en la metodología del Marco Lógico, que constituye una herramienta de gran utilidad para optimizar los procesos de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. El principal objetivo de ésta es el proporcionar un fundamento a la planificación y al proceso de difusión de información de los proyectos. En esta sección se proponen cuatro escenarios de decisión construidos a partir de la metodología del Marco Lógico. Cada escenario se evalúa con base en tres (3) criterios, cada uno de los cuales recibe un peso porcentual diferente dependiendo del tipo de escenario que se evalúe.

El plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral para Caldas es una estrategia que pretende establecer líneas de priorización de los recursos destinados a fortalecer la formación de capital humano para consolidar y fortalecer el sector Biotecnológico de Caldas. Para ello se define un ecosistema conformado por cuatro componentes principales: 1) Capacidades de Investigación; 2) Demanda y Oferta educativa; 3) Información económica de las principales ramas económicas del PIB del departamento de Caldas; y 4) Tendencias nacionales e internacionales del mercado. A través de estos criterios el proceso de construcción de escenarios busca crear elementos a partir de los cuales se pueda visualizar la incorporación de una estrategia de formación de capital humano en el departamento de Caldas.

4.1 Análisis de Ecuaciones Estructurales

El análisis estructural es una herramienta de análisis de estrategia. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona diversas variables entre sí.

La primera fase se basa en la definición, el análisis de las variables y la relación que se establece entre ellas mismas.

A partir del análisis de capacidades identificadas en los capítulos anteriores se definió una serie de características y variables enmarcadas en los resultados obtenidos. A continuación se enumeran las variables objeto de estudio:

Capacidades de investigación

- Número de Doctores.
- Grupos de investigación a nivel nacional.
- Grupos de investigación a nivel del departamento de Caldas.
- Laboratorios de biotecnología a nivel nacional.
- Laboratorios de biotecnología a nivel del departamento.

Demanda y oferta educativa

- Número de programas ofertados.
- Programas demandados.

Información económica del departamento de Caldas

- Cadenas productivas relacionadas con algún tipo de biotecnología.
- Productos agrícolas a potenciar en las cadenas.
- Participación porcentual en el PIB departamental.
- Necesidades de producción de la cadena en Caldas

Necesidades de mercado

- Necesidades internacionales
- Necesidades nacionales

A partir de las variables en mención que hacen parte del modelo, se realizó su respectivo estudio. El análisis estructural dicho anteriormente busca definir el grado de relación entre las variables y su nivel de importancia en relación con el sistema en los siguientes términos: 1) No influye; 2) Poca influencia; 3) Media influencia; y 4) Alta influencia.

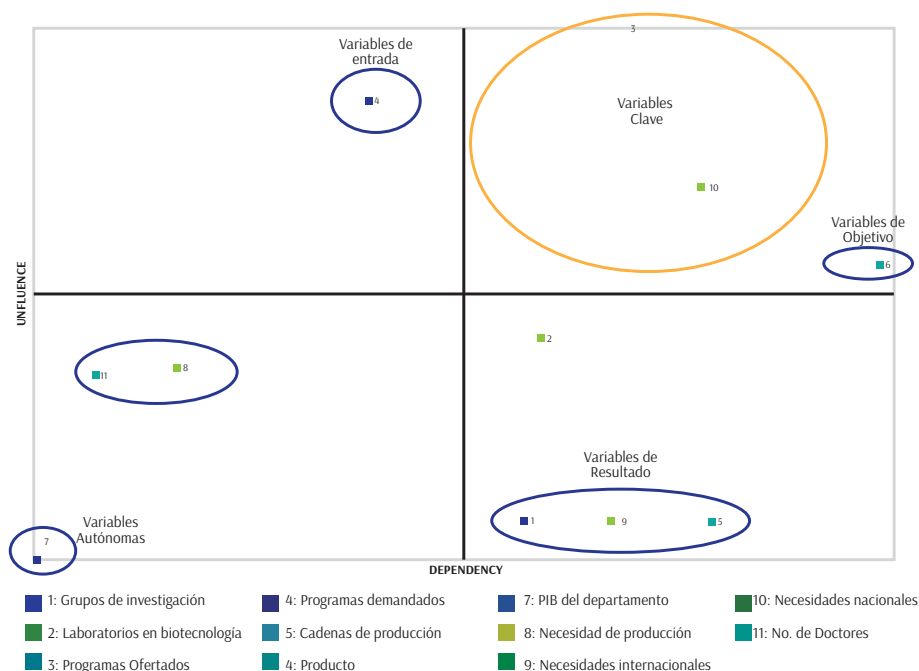
La ponderación del nivel de influencia de cada una de éstas variables en relación con cada una del total se valora en la **Tabla 17** y se clasifica según su nivel de relevancia y capacidad de impacto en el sistema en su conjunto en la **Ilustración 43**.

Tabla 17. Matriz relacional entre las variables analizadas (0 carece de influencia; 1 influencia baja; 2 influencia media; 3 influencia fuerte).

Influence	GTAS	LAB BIOTEC	# PROG OF	# PROG DEM	CAD PRO	PRODUCTO	PIB DEP	NEC PROO	NEC INTERN	NEC NAL	# Doctores
GTAS	0	3	2	1	1	1	1	1	2	2	3
LAB BIOTEC	3	0	3	3	2	1	1	0	2	2	3
# PROG OF	3	3	0	3	3	3	2	2	2	2	2
# PROG DEM	3	3	3	0	3	2	2	2	2	2	1
CAD PRO	1	1	1	1	0	3	2	2	2	3	1
PRODUCTO	1	2	2	2	3	0	3	3	2	2	1
PIB DEP	1	1	1	1	2	3	0	2	2	2	1
NEC PROO	1	1	2	2	3	3	1	0	2	3	1
NEC INTERN	1	1	2	2	1	3	1	3	0	2	1
NEC NAL	3	2	3	2	2	3	1	1	3	0	2
# Doctores	3	3	2	1	2	2	1	1	2	2	0

Fuente: elaborado por el autor.

Ilustración 43. Ubicación de variables por cuadrantes según su nivel de importancia



Fuente: elaborado por el autor.

- **Variables clave**

Las presentes variables son fundamentales en el uso del sistema. Razón por la cual, en el caso de estudio se las relaciona con las necesidades del mercado y los programas ofertados que permiten definir áreas objeto de estudio e identificar oportunidades de construcción de planes orientados a generar capacidades en biotecnología. Variable seleccionada: Necesidades nacionales del mercado, número de programas ofertados.

- **Variables de entrada o determinantes**

En la zona superior izquierda, se encuentran las variables determinantes. Éstas se caracterizan por ser poco dependientes y tener una alta motricidad. De igual modo, de acuerdo con la evolución que presenten a lo largo del periodo de estudio se convierten en frenos o motores del sistema, condición que determina su denominación. Variable seleccionada: Número de Programas demandados

- **Variables objetivo**

Se ubican en la parte central y se caracterizan por su alto grado de dependencia y capacidad mediana de motricidad. Es ésta característica la que determina sus condiciones de variables objetivo, en la medida que es a través de éstas que es posible influir para buscar una evolución deseada en el sistema. Se caracterizan por un elevado nivel de dependencia y medio de motricidad. Su denominación se da debido a que su nivel de dependencia permite actuar. Variable seleccionada: Productos Agrícolas.

- **Variables autónomas**

Variable seleccionada: Necesidades Productivas, número de Doctores.

- **Variables resultado**

Se caracterizan por presentar una baja motricidad y alta dependencia. Suelen ser junto con las variables objetivo, indicadores que describen la evolución del sistema. Variable seleccionada: Grupos de Trabajo Académico, necesidades Internacionales, cadenas agrícolas. Con base en lo anterior se determina que las variables prioritarias y fundamentales para la construcción del Plan quinquenal a partir de diferentes escenarios son las siguientes:

Se propone un **Escenario Clave** compuesto por las variables de necesidades de mercado y programas ofertados, como primer criterio de decisión; un segundo **Escenario de Resultados**; un tercer **Escenario de variables autónomas**, y un cuarto Escenario de variables de entrada. Esta caracterización se realiza con el fin de identificar y proponer a los evaluadores, por medio del método Delphi, escenarios estratégicos, que según su discernimiento a través de la metodología de focus group, podrán orientarse hacia uno de los cuatro escenarios para tomar las decisiones sobre el desarrollo del programa de un Plan de Formación Quinquenal en Biotecnología para el departamento de Caldas.

La metodología de diferenciales semánticos es una técnica que admite evaluar cuantitativamente criterios cualitativos y permite establecer el grado de semejanza o diferencia entre conceptos y en este caso, priorizar líneas de énfasis a partir de una evaluación cuantitativa. Para clasificar las líneas de énfasis en cada uno de los escenarios propuestos y para poder priorizarlas cuantitativamente, por medio de la metodología de diferenciales semánticos se le asignará a cada línea una calificación de 1 a 6 dependiendo de su grado de importancia en el escenario específico que se esté evaluando, así, a la línea de énfasis que mayor participación tenga se le asignará un valor de 6 y la línea que menor grado de participación obtenga en los criterios de evaluación 1.

Tabla 18. Escenario clave

6	Escenario Clave		Observaciones	Puntaje Asignado							
	Tipo	Necesidades Nacionales		# Programas Ofertados	1	2	3	4	5	6	
	Biotechnología Roja	Abordar las diez enfermedades prioritarias para Colombia según el Ministerio de Salud. -Enfermedades crónicas y degenerativas. - Enfermedades cardiovasculares. - Cáncer. - Deficiencia pulmonar crónica. - Diabetes. - lesiones personales, derivadas de la violencia y accidentes de tráfico. -Enfermedades infecto-contagiosas: infecciones respiratorias, diarreas en niños, VIH, dengue, malaria y tuberculosis.	POSGRADOS - Maestría en Salud Pública. - Especialización en Anestesiología. - Especialización en Cirugía General. - Especialización en Gastroenterología Clínico Quirúrgica. - Especialización en Medicina Interna. - Especialización en Medicina Interna Geriátrica. - Especialización en Medicina de Urgencias.	Programas orientados en las áreas de la investigación requerida							X

6	Escenario Clave			Puntaje Asignado					
Tipo	Necesidades Nacionales	# Programas Ofertados	Observaciones	1	2	3	4	5	6
Biotecnología Roja		<ul style="list-style-type: none"> - Especialización en Pediatría. - Especialización en sexología clínica. 							
Biotecnología Verde	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoramiento nutricional de la población. - Incremento de las exportaciones de cítricos. - Fortalecer la cadena de cafés especiales. - Contar para el 2015 con la cadena de producción de plátano más productiva (ACM, 2014). - Incrementar las exportaciones en todos los productos. 	<p>A Nivel Tecnológico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnológico en agrobiotecnología (SENA). - Tecnología en gestión agropecuaria. - Técnico profesional en formulación e implementación de proyectos agropecuarios. <p>Diplomados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diplomado en biología vegetal (Universidad del Tolima). - Diplomado en Biotecnología de la reproducción animal (Politécnico Colombiano-Jaime Isaza Cadavid). (CBBC, 2014). <p>Pregrados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniería Agronómica. - Administración de ciencias agropecuarias. 				X			

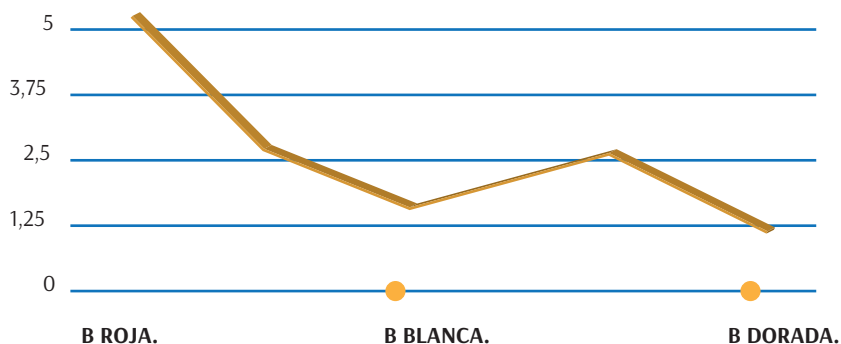
6	Escenario Clave		Observaciones	Puntaje Asignado						
	Tipo	Necesidades Nacionales		# Programas Ofertados	1	2	3	4	5	6
	Biotechnología Verde		<p>Posgrados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Doctorado en ciencias agrarias. - Maestría en Sistemas de producción agropecuaria/ - Especialización en Administración y evaluación de proyectos agropecuarios y agroindustriales. 							
	Biotechnología Blanca	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la baja Calidad de la leche producida. 180.000 litros de leche diaria, de los cuales, el 63% son producidos por Celema (Agenda de Competitividad de Manizales -ACM-, 2014, p. 96) - Evaluar la factibilidad de tener una planta procesadora de leche en polvo con aprovechamiento de lacto suero. - Incrementar las exportaciones. - Necesidad de programas en Bionegocios. 	<p>A Nivel Tecnológico: Tecnológico en procesos biotecnológicos aplicados a la industria (SENA).</p> <p>Diplomados: Diplomado en biotecnología de polímeros (Universidad de San Buenaventura).</p> <p>Posgrados</p> <ul style="list-style-type: none"> - Especialización en microbiología agroindustrial (Universidad Católica de Manizales). - Maestría en microbiología agroindustrial (Universidad Católica de Manizales). 		X					

6	Escenario Clave			Puntaje Asignado					
Tipo	Necesidades Nacionales	# Programas Ofertados	Observaciones	1	2	3	4	5	6
Biología Blanca		- Maestría en Ingeniería de Alimentos (Universidad de Caldas)	x						
Biología Gris	Contaminantes: Colombia es el tercer país del mundo con mayor contaminación per cápita con mercurio (NCBI, 2011) - En Caldas “el desafío es incrementar el volumen de alimentos sin deteriorar el medio ambiente pues la capacidad de sustento de la tierra es limitada” (Agenda de Competitividad de Manizales). - Remediación de suelos y cuencas Hídricas en Caldas.	Posgrados - Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Universidad de Manizales). - Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. (Universidad Nacional de Colombia). - Maestría en Ingeniería Ambiental (Universidad Nacional de Colombia). - Especialización en Ingeniería Ambiental. (Universidad Nacional de Colombia)				X			

Tipo	Necesidades Nacionales	# Programas Ofertados	Observaciones	1	2	3	4	5	6
Biotecnología Dorada	Análisis de datos en los siguientes productos agrícolas: - Cafés Especiales. - Plátano. - Caña Panelera. - Aguacate. Análisis de datos en los siguientes sectores industriales: Lácteos Chocolates y confitería Datos Suministrados por el Banco de la República.	Posgrados - Maestría en bioinformática (Universidad Nacional de Colombia-Bogotá) - Maestría en bioinformática y Biología Computacional (Universidad de Caldas) - Maestría en Biología Computacional (Universidad de los Andes).			X				

Fuente: elaborada por el autor con base en la evaluación dada según el análisis entre necesidades y los programas de formación ofertados, se determinó una calificación a partir del grado de satisfacción de la necesidad arrojando las siguientes conclusiones.

Ilustración 44. Nivel de satisfacción de las necesidades por medio de programas de formación ofertados



Fuente: elaborada por el autor.

Tabla 19. Necesidades concluyentes por nivel de importancia Escenario clave (Puntaje: B Roja 5; B. Verde 3; B. Blanca 2; B. Gris 3; B. Dorada 2).

Tipo de Biotecnología	Necesidades Identificadas
B. Blanca	<p>Tecnología: Tecnología en Alimentos.</p> <p>Posgrados: Procesos Industriales en Alimentos. Bionegocios</p>
B. dorada	<p>Análisis de datos en los siguientes productos agrícolas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cafés Especiales. • Plátano. • Caña Panelera. • Aguacate. <p>Análisis de datos en los siguientes sectores industriales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lácteos. • Chocolates y confitería.

Fuente: elaborada por el autor.

Tabla 20. Escenario de resultados

7	Escenario de Resultados				Puntaje Asignado					
					1	2	3	4	5	6
Tipo	Gtas	Tendencias Internacionales	Cadenas agrícolas	Observaciones						
Biotecnología Roja	A1: 1 C: 4 D:1	Biofármacos y bioservicios (desarrollo de vacunas, insulina, anticuerpos).	No aplica		x					

7	Escenario de Resultados				Puntaje Asignado						
	Tipo	Gtas	Tendencias Internacionales	Cadenas agrícolas	Observaciones	1	2	3	4	5	6
Biotecnología Verde	A1: 2 B: 3 C: 2	<ul style="list-style-type: none"> Las exportaciones totales de cafés especiales en Colombia no alcanzan los 2,5 millones de sacos al 2014, es decir, un 28% de las ventas totales de café colombiano” (ACM, Diapositiva 75, 2014). “La tendencia de las exportaciones colombianas de plátano ha estado a la baja en los últimos años” (ACM, Diapositiva 143, 2014). En el mercado internacional de cítricos “la participación del país en el negocio y la industria citrícola, tanto fresco como productos procesados es casi inexistente” (ACM, Diapositiva 120, 2014). 	<p>Cafés especiales. Cítricos. Plátano. Caña panelera.</p>								

7	Escenario de Resultados				Puntaje Asignado						
Tipo	Gtas	Tendencias Internacionales	Cadenas agrícolas	Observaciones	1	2	3	4	5	6	
Biotecnología Blanca	A1: 3	<p>•“Seis países concentran el 76% de la producción de leche en el mundo encabezados por nueva Zelanda y la Unión Europea” (Diapositiva 97).</p> <p>•En 2013 los principales productos de exportación de Colombia en torno al sector lácteo fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Leche concentrada con o sin azúcar (88% del total). •Manjar blanco (3,5%). •Quesos frescos y requesón (3.3%). •Helados (2.4%). •Yogurt (1.7%). •Mantequilla (0.7). 	Lácteos.Caña panelera.								

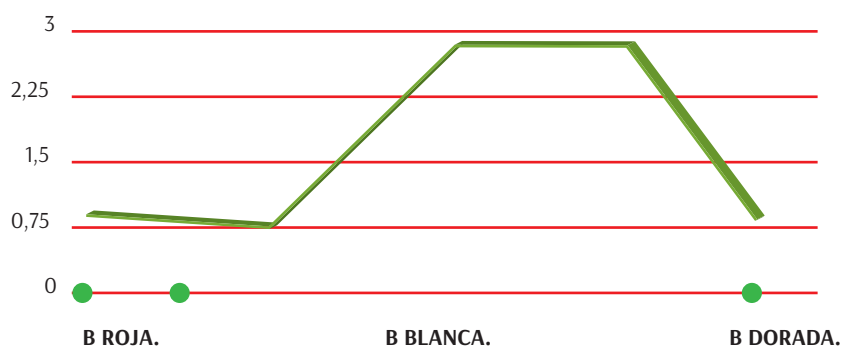
7	Escenario de Resultados				Puntaje Asignado						
	Tipo	Gtas	Tendencias Internacionales	Cadenas agrícolas	Observaciones	1	2	3	4	5	6
	Biología Blanca		<ul style="list-style-type: none"> • Biocombustibles. • Bioplásticos. • Insumos industriales que sirvan como fuentes alternativas de energía, que no compitan con el suministro de biomasa necesaria para garantizar la estabilidad de los precios de los alimentos en países en desarrollo, y que a su vez, contribuyan a disminuir las emisiones de dióxido de carbono. • Insumos plásticos no dependientes de petróleo para su fabricación con propiedades de rápida biodegradación. 								
	Biología Gris	C: 3	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de remediación de daños ambientales. • Remediación de suelos y cuencas hídricas 	No aplica				x			

7	Escenario de Resultados				Puntaje Asignado					
Tipo	Gtas	Tendencias Internacionales	Cadenas agrícolas	Observaciones	1	2	3	4	5	6
Biotecnología Dorada		<ul style="list-style-type: none"> •Investigación abierta. •Ingeniería y física. •Sector petrolero. •Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales. •Energía. 	Bioinformática y Biología Computacional aplicada a sector agrícola y agroindustria: <ul style="list-style-type: none"> •Cafés especiales. •Cítricos. •Plátano. •Caña panelera 							

Fuente: con base en la evaluación dada según el análisis entre las capacidades de los GTA y las necesidades internacionales, se determinó una calificación a partir del grado de satisfacción de la necesidad arrojando las siguientes conclusiones.

Las necesidades concluyentes por nivel de importancia son las siguientes:

Ilustración 45. Grado de satisfacción de necesidades en el escenario de variables de resultados (Puntaje: B. Roja 1; B. Verde 1; B. Blanca 3; B. Gris 3; B. Dorada 1).



Fuente: elaborada por el autor.

Tabla 21. Escenario de variables autónomas

8	Escenario de Variables Autónomas		Observaciones	Puntaje Asignado						
	Tipo	Necesidades Nacionales		# Doctores	1	2	3	4	5	6
	Biología Roja		16			x				
	Biología Verde	<ul style="list-style-type: none"> •Mejoramiento nutricional de la población (ACM, 2014, Diapositiva 134) •Incremento de las exportaciones de cítricos (ACM, 2014, Diapositiva 134) •Fortalecer la cadena de cafés especiales (ACM, 2014) •Contar para el 2015 con la cadena de producción de plátano (ACM, 2014). •Incrementar la productividad y el volumen de alimentos sin deteriorar el medio ambiente •Incrementar las exportaciones en todos los productos. 	32						x	

8	Escenario de Variables Autonomas			Puntaje Asignado						
Tipo	Necesidades Nacionales	# Doctores	Observaciones	1	2	3	4	5	6	
Biotecnología Blanca	<ul style="list-style-type: none"> •Mejorar la baja Calidad de la leche producida (ACM, Diapositiva 104). •Evaluar la factibilidad de tener una planta procesadora de leche en polvo con aprovechamiento de lacto suero (ACM, 2014). •Incrementar las exportaciones. <ul style="list-style-type: none"> •Insumos industriales que sirvan como fuentes alternativas de energía, que no compitan con el suministro de biomasa necesaria para garantizar la estabilidad de los precios de los alimentos en países en desarrollo, y que, a su vez, contribuyan a disminuir las emisiones de dióxido de carbono. •Insumos plásticos no dependientes de petróleo para su fabricación con propiedades de rápida biodegradación. 	16								

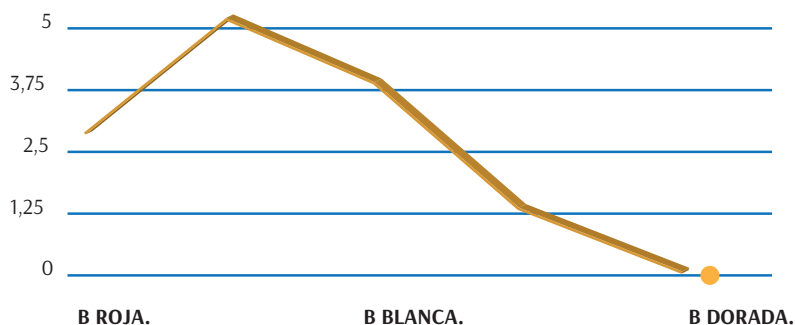
8	Escenario de Variables Autonomas		Observaciones	Puntaje Asignado						
	Tipo	Necesidades Nacionales		# Doctores	1	2	3	4	5	6
	Biología Gris	<ul style="list-style-type: none"> •Servicios de remediación de daños ambientales. •Remediación de suelos cuencas hídricas. 	14		x					
	Biología Dorada	<ul style="list-style-type: none"> •Investigación abierta. •Ingeniería y física. •Sector petrolero. •Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales. •Energía. 	5	x						

Fuente: elaborado por el autor.

Con base en la evaluación dada según el análisis entre necesidades nacionales y número de Doctores que trabajan en torno al tipo de biotecnología, se determinó una calificación a partir del grado de satisfacción de la necesidad arrojando las siguientes conclusiones:

Las necesidades concluyentes por nivel de importancia son las siguientes:

Ilustración 46. Grado de satisfacción de las necesidades en el escenario de variables autónomas (Puntaje: B. Roja 3; B. Verde 5; B. Blanca 4; B. Gris 2; B. Dorada



Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 22. Necesidades concluyentes por nivel de importancia – Escenario de variables autónomas

Tipo de Biotecnología	Necesidades Identificadas
B. Dorada	Se referencia un escaso número de doctores en bioinformática en Caldas, por tal motivo se identifica como necesidad la generación de programas de formación de alto nivel para el surgimiento de una línea base. Para ello, es posible además generar estrategias encaminadas a la creación de líneas de investigación en los actuales programas de formación doctoral relacionados con las TIC e ingeniería.

Fuente: elaborado por el autor.

Con base en el análisis del escenario de variables autónomas, se concluye que existe la necesidad de generar capacidades de investigación e innovación en las áreas de la biotecnología dorada. Puesto que en la actualidad no se cuentan con suficientes capacidades de recursos humanos de alto nivel según las necesidades identificadas a nivel internacional en la presente área objeto de estudio. Se identifica un insuficiente número de Doctores en bioinformática en Caldas. Por tal motivo, es necesario generar programas de formación de alto nivel para el fortalecimiento de una línea base. Es posible gestar, además, estrategias encaminadas a la creación de líneas de investigación en los actuales programas de formación doctoral relacionados con las TIC e ingeniería.

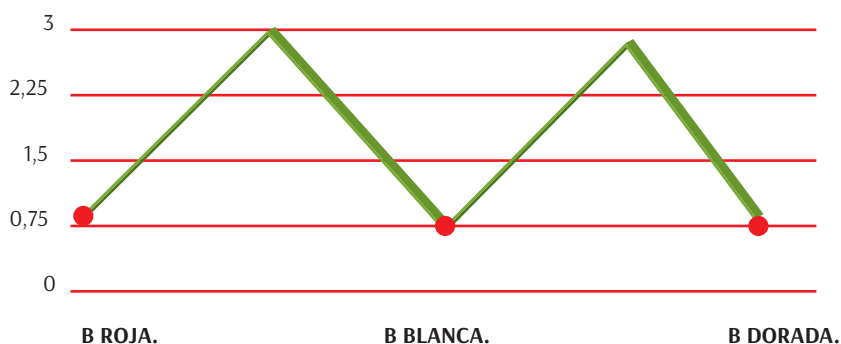
Tabla 23. Variables de entrada (Puntaje: B. Roja 1; B. Verde 3; B. Blanca 1; B. Gris 3).

9	Escenario de Variables de Entradas		Puntaje Asignado						
	Tipo	Programas Demandados	Observaciones	1	2	3	4	5	6
	Biotecnología Roja	• Manejo de competencias computacionales, matemáticas y análisis de cantidades masivas de información con aplicación a las ciencias de la vida (CBBC, 2014)		x					
	Biotecnología Verde	• Programas técnicos y tecnológicos en siembra, poscosecha, telemetría de cultivos. • Adaptación al cambio climático				x			

9	Escenario de Variables de Entradas	Observaciones	Puntaje Asignado					
			Tipo	Programas Demandados				
			1	2	3	4	5	6
Biología Blanca	<ul style="list-style-type: none"> •Gestión de negocios biotecnológicos. •Procesos industriales en alimentos. 		x					
Biología Gris	<ul style="list-style-type: none"> •Biorremediación de suelos y cuencas hídricas. 				x			
Biología Dorada	<p>Análisis de datos en:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Investigación abierta. •Ingeniería y física. •Sector petrolero. •Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales •Energía. 		x					

Fuente: elaborada por el autor.

Ilustración 47. Grado de satisfacción de las necesidades en el escenario de variables de entrada



Fuente: Elaborada por el autor con base en la evaluación dada según el análisis de programas demandados, se determinó una calificación a partir del grado de satisfacción de la necesidad arrojando las siguientes conclusiones.

Las necesidades de formación por nivel de importancia según el tipo de biotecnología son las siguientes:

Tabla 24. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Variables de entrada (Evaluación: B. Roja 1; B. Verde 3; B. Blanca 1; B. Gris 3; B. Dorada 1).

Escenario Variables de Entrada	
Tipo de Biotecnología	Programas Demandados
B. Roja	Biofármacos y bioservicios (desarrollo de vacunas, insulina, anticuerpos). Manejo de competencias computacionales, matemáticas y análisis de cantidades masivas de información con aplicación a las ciencias de la vida (CBBC, 2014).
B. Blanca	Gestión de negocios biotecnológicos. Procesos industriales en alimentos.
B. Dorada	Investigación abierta. Ingeniería y física. Sector petrolero. Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales. Energía. Manejo de competencias computacionales, matemáticas y análisis de cantidades masivas de información con aplicación a las ciencias de la vida (CBBC, 2014).

Fuente: elaborada por el autor con base en el análisis del escenario de variables de entrada, se debe generar oferta de programas de formación en biotecnología roja, blanca y dorada.

4.2 Inserción laboral en torno a la biotecnología y la computación de alto desempeño en Colombia

En el caso de tecnologías como la biotecnológica y la computación de alto desempeño, el desarrollo paralelo de una industria y de capital humano, se considera necesario para permitir crear dinámicas de innovación, desarrollo, comercialización y generación de empleo (BioTechCorp, 2009). Al retomar las lecciones de aprendizaje obtenidas a partir de experiencias internacionales y de manera específica de países referentes a nivel mundial en materia de biotecnología, se destaca la estrategia de los Estados Unidos de incrementar la inversión en el fortalecimiento de capacidades de transferencia y comercialización de tecnología (Zucker, 1994, p.38). España por su parte orientó la educación a crear competencias complementarias para desarrollar todo un modelo de negocio en torno a la biotecnología. Además, detectó que la demanda laboral depende a su vez del tamaño, tipo y ciclo de vida de las empresas que predominan en el país (Genoma España, 2004, pp.106-109). De igual modo, priorizó la formación de capital humano en necesidades detectadas dirigidas a fortalecer las capacidades de exportación. Francia comprendió que la generación de empleo en el sector biotecnológico depende no sólo de reforzar el capital humano de las ciencias exactas y las capacidades de investigación, sino además, la educación

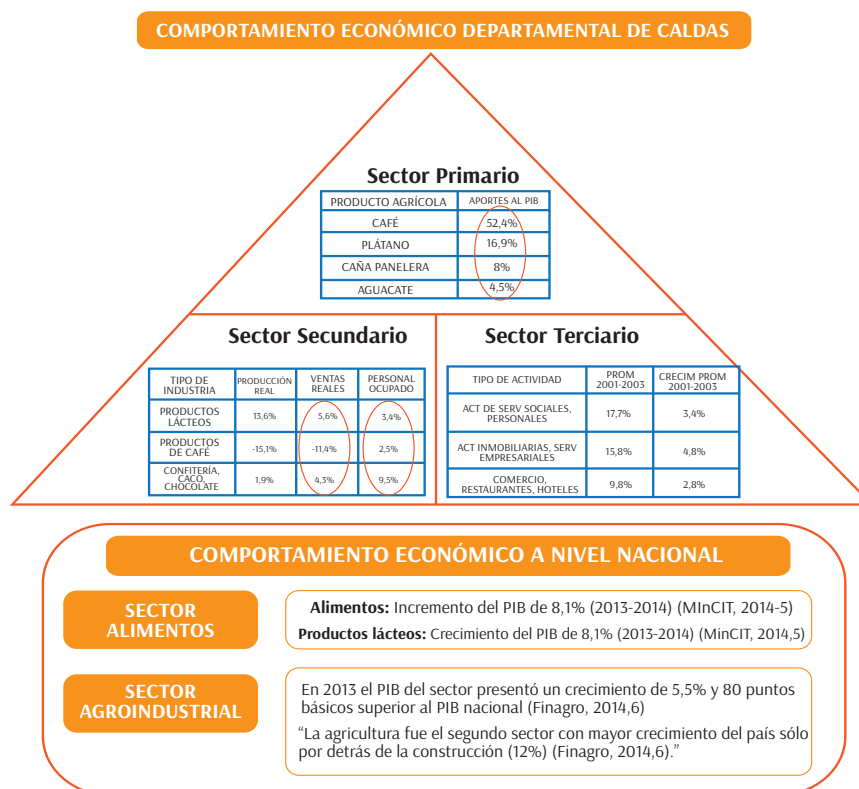
y el trabajo interdisciplinario en sobre temas como planes y desarrollo de negocios, búsqueda de financiación, gestión de la propiedad intelectual, realización de contratos, marketing y comercialización de tecnología (CDG, 2015). Corea del Sur desarrolló programas vocaciones según las necesidades de exportación de las empresas locales (Hazar Strateji Enstitüsü, 2015). Brasil fortaleció la colaboración desde las etapas tempranas de la academia con las dinámicas de las empresas (BiotechNow, 2011). Finalmente, el gobierno mexicano estableció subsidios a empresas con el objetivo de apoyar la vinculación laboral de profesionales con formación doctoral a partir de membrecías a las que se accede por nivel de productividad investigativa, estrategia que se propone para el caso del departamento de Caldas (Corona, 2006).

Con base en lo anterior, para que la oferta educativa propuesta para el departamento de Caldas genere posibilidades de inserción laboral, es necesario que sea coherente con la estructura económica de la región, sirva como insumo para fortalecer las capacidades locales de exportación, y desarrolle capital humano con competencias complementarias que apoyen el desarrollo de modelos de negocio en torno a las investigaciones e innovaciones. Al revisar la composición industrial y empresarial del departamento de Caldas se destacan como sectores con potencial de aplicación de investigación y desarrollos de la biotecnología el sector agrícola, de alimentos, y producción de plásticos. En el departamento el sector que ocupa el primer lugar en generación de empleo son las manufacturas con un 15.9%, en segundo lugar, la elaboración de productos alimenticios en conjunto con los lácteos suma el 15.3%, y en tercera instancia la elaboración de productos de metal con un 12.6%. La fabricación de productos plásticos por su parte un 6.5%, y la producción de café un 6.3%. (ACM, 2014, p.96). Además, el departamento presentó durante el 2013 una balanza comercial agropecuaria superavitaria (ACM, 2014, p.65). En los sectores en mención se encuentran en Caldas empresas como Casa Luker, Súper de Alimentos, Celema, Meals de Colombia, Normandy, Colanta y Alpina, Compañía Cafetera la Meseta, entre otras. Al respecto, la creación y el fortalecimiento de programas enfocados en biotecnología aplicada al sector agrícola (verde) y a la industria (blanca) cumple con el criterio de formación de capital humano pertinente con base en las necesidades de mercado. Además, coinciden con las principales fortalezas del departamento que cuenta con centros de investigación como el Instituto de Biotecnología y Agroindustria de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales, y el Instituto de Biotecnología Agropecuaria de la Universidad de Caldas. Así mismo, la biotecnología verde y blanca se encuentran en el conjunto de tipos de biotecnología requeridos con carácter prioritario en el país (INNpuls, 2013) y mantienen una pertinencia para satisfacer necesidades globales como la creciente demanda de alimentos en un escenario de cambio climático y crecimiento exponencial de la población mundial, y mercados crecientes como el de biopolímeros.

La creación de nuevos programas educativos en el departamento de Caldas debe responder a la necesidad de permitir hacer uso del conocimiento para generar nuevas opciones de empleo por medio del surgimiento de nuevas empresas. Expertos en biotecnología que laboran en Colombia (CBBC, 2014) y estudios llevados a cabo con el objetivo de diagnosticar las necesidades del sector biotecnológico, reconocen que en el conjunto de los principales obstáculos para lograr el desarrollo comercial de éste sector se encuentran las capacidades de transferencia de conocimiento al mercado y realización de procesos de comercialización de tecnología

(CBBC, 2014; INNpuls, 2013). Esta condición expone la necesidad de contar con expertos con conocimientos y competencias interdisciplinarias para comprender de forma simultánea las dinámicas propias de los procesos de investigación y del mercado en biotecnología. Se espera que, a su vez, contribuyan a disminuir la brecha que actualmente existente entre la academia y el sector empresarial y apoyen el surgimiento de nuevos emprendimientos. Lo anterior a través de conocimientos en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, propiedad intelectual, gestión de la financiación en sus diferentes etapas, valoración de intangibles, negociación y comercialización de tecnología, incubación y aceleración de *Spin-off* y *Start-Ups*, negociación de contratos, marketing, comercialización, penetración de mercados internacionales, entre otros aspectos, que aplicados a la biotecnología presentan un gran número de particularidades y considerable nivel de diferenciación en relación con mercados tradicionales. Para ello, una Maestría en Bionegocios, no sólo resulta pertinente con una necesidad de mercado detectada para el país, sino útil para impulsar el surgimiento de bioempresas. Finalmente, la formación de capital humano con éstas características también coincide con las estrategias implementadas por los Estados Unidos y Francia para fomentar el desarrollo comercial del sector biotecnológico.

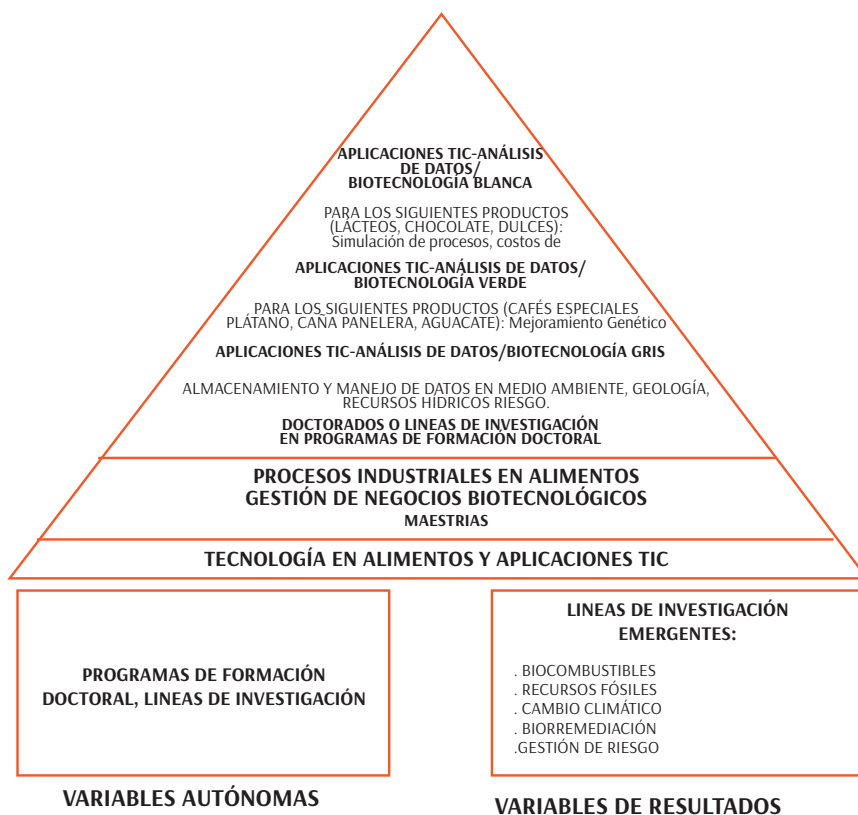
Ilustración 48. Comportamiento de los sectores económicos relacionados con las áreas de educación propuestas



Fuente: elaborada por el autor con base en información de la Agenda de Competitividad de Manizales y el Informe Económico 2014 Colombia Caldas de la Cámara de Comercio de Manizales por Caldas.

Compilando la información de los cuatro escenarios objeto de análisis se construyó una pirámide de prioridades según la importancia del escenario, detectando las necesidades de formación con grado de formación tanto a nivel técnico, como investigativo (ver **Ilustración 49**).

Ilustración 49. Programas académicos y líneas de investigación propuestos para el plan quinquenal



Fuente: elaborada por el autor con base en la información recopilada en el capítulo 4

4.3 Conclusiones

Durante el desarrollo del escenario clave se encuentra en relación con las variables de necesidades de mercado y de forma especial del sector primario, que el 52,4% del total de hectáreas sembradas con productos agrícolas en Caldas fue destinado al café, en segundo lugar se ubicó el plátano con 16,9%, en tercer y cuarto puesto estuvieron la caña panelera y el aguacate con 8,0% y 4,5% respectivamente, y en menor proporción fue la extensión cultivada con cítricos, cacao, caña azucarera, entre otros (Informe de Coyuntura Económica Regional 2014 del Banco de la República de Colombia, 2014). En el acumulado a diciembre de 2014, los resultados correspondientes al sector secundario

referentes a la industria del Eje Cafetero fueron positivos según la Muestra Trimestral Manufacturera del DANE, donde la producción de actividades características en Caldas presentaron crecimiento frente a 2013, como las relacionadas con chocolate y confitería, lácteos, elaborados de metal y otras industrias; no obstante, algunos alimentos y los productos de café evidenciaron descensos, acorde con la reducción anual de las ventas externas del rubro de café y sus preparados en el departamento. Por otro lado, de acuerdo con información de la Federación Nacional de Cafeteros, en el año de análisis el área cultivada con café en Caldas acentuó la tendencia descendente registrada desde 2005. Sin embargo, el volumen exportado del grano en toneladas mostró un aumento anual en 2014, debido principalmente a los mayores envíos hacia Estados Unidos, Japón y Alemania.

Evidenciando la situación de los sectores primarios, secundarios y terciarios de la economía departamental, frente a las necesidades de capacitación y la oferta actual de programas de formación en relación a las necesidades manifestadas por el sector, se propone un escenario de formación y capacitación orientada a fortalecer productos identificados como estratégicos y con proyección para el departamento de Caldas.

Tabla 25. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario Clave por Tipo de Biotecnología

Necesidades de Formación de Acuerdo Con el Escenario Clave	
Tipo de Biotecnología	Necesidades Identificadas
B. Blanca	Tecnología: Tecnología en alimentos.
	Posgrados: Procesos industriales en alimentos. Gestión de negocios biotecnológicos.
B. Dorada	Análisis de datos en los siguientes productos agrícolas: Cafés Especiales. Plátano. Caña Panelera. Aguacate. Análisis de datos en los siguientes sectores industriales. Lácteos. Chocolates y confitería.

Fuente: elaborada por el autor.

En el análisis del escenario de resultados (ver **Tabla 26**) es evidente que se debe generar capacidades de investigación e innovación en las áreas de la biotecnología dorada y roja. En la actualidad no se cuentan con capacidades de recursos humanos de alto nivel

según las necesidades identificadas a nivel internacional en la presente área objeto de estudio. Por tal motivo se deben construir programas de formación de alto impacto a nivel de maestrías y doctorados enfocados a las temáticas detectadas como necesidades del mercado a nivel internacional.

Tabla 26. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Resultados

Necesidades de Formación de Acuerdo con el Escenario de Resultados	
Tipo de Biotecnología	Necesidades Identificadas
B. Dorada	Investigación abierta Ingeniería y física. Sector petrolero. Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales. Energía.
B. Roja	Biofármacos y bioservicios (desarrollo de vacunas, insulina, anticuerpos priorizados en las enfermedades de mayor concurrencia del país)

Fuente: elaborada por el autor.

Según el análisis del escenario de variables autónomas (ver **Tabla 27**), es necesario generar capacidades de investigación e innovación en las áreas de la biotecnología dorada. En la actualidad se cuentan con insuficientes capacidades de recursos humanos de alto nivel según las necesidades identificadas a nivel internacional en la presente área objeto de estudio. Se referencian escasos Doctores en bioinformática en Caldas, por tal motivo se debe generar un programa de formación de alto nivel para el surgimiento de una línea base. Además, se pueden suscitar estrategias encaminadas a la creación de líneas de investigación en los actuales programas de formación doctoral relacionados con las TIC e Ingeniería.

Tabla 27. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Variables Autónomas

Necesidades de Formación de Acuerdo con El Escenario Variables Autónomas	
Tipo de Biotecnología	Necesidades Identificadas
B. Dorada	Se referencia una insuficiente cantidad de Doctores en Bioinformática y Biología Computacional en Caldas, motivo por el cual se requiere crear programas de formación de alto nivel para la creación de una línea base. Es posible generar estrategias encaminadas a la creación de líneas de investigación en los actuales programas de formación doctoral relacionados con las TIC, e ingeniería.

Fuente: elaborada por el autor.

Con base en el análisis del escenario de variables de entrada, se debe generar oferta de programas de formación en biotecnología roja, blanca y dorada.

La **Tabla 28** muestra que la estrategia de formación en biotecnología y bioinformática a nivel de los sectores primarios, secundarios y terciarios de la economía departamental, debe estar enmarcada en el fortalecimiento de capacidades técnicas de la industria de alimentos a nivel de productos como: lácteos, chocolates, cítricos, plátano, confitería y café.

Tabla 28. Necesidades concluyentes por nivel de importancia- Escenario de Variables de Entrada

Necesidades de Formación de Acuerdo con El Escenario Variables de Entrada	
Tipo de Biotecnología	Programas Demandados
B. Roja	Biofármacos y bioservicios (desarrollo de vacunas, insulina, anticuerpos, instrumentos de diagnóstico y tratamiento para las enfermedades que más afectan al país de acuerdo con el Ministerio de Salud). Manejo de competencias computacionales, matemáticas y análisis de cantidades masivas de información con aplicación a las ciencias de la vida (CBBC, 2014).
B. Blanca	Gestión de negocios biotecnológicos. Procesos Industriales en Alimentos.
B. Dorada	Investigación abierta. Ingeniería y física. Sector petrolero. Aplicaciones: atmosféricas, oceanográficas, climáticas y ambientales. Energía. Manejo de competencias computacionales, matemáticas y análisis de cantidades masivas de información con aplicación a las ciencias de la vida Fuente: (CBBC, 2014)

Fuente: elaborada por el autor.

Con cuando a la oferta de programas de maestría, se evidencia en la documentación analizada y en la entrevista realizada a diferentes actores de los sectores estudiados, que se requiere una formación de alto nivel profesional en torno a procesos industriales orientados a alimentos y en gestión de negocios biotecnológicos. La apuesta de los programas de formación doctoral debe estar enmarcada en la creación de líneas de énfasis orientadas a la investigación aplicada en el análisis y simulación de escenarios a nivel de nuevos productos, nuevos servicios y optimización de procesos en áreas tales como:

Biotecnología blanca (Lácteos, Chocolate, Confeitería): simulación de procesos, costos de producción, nuevos productos. **Biotecnología verde** (café especiales, plátano, caña panelera, aguacate, cítricos): mejoramiento genético, cosecha, poscosecha, sensorización, métricas. **Biotecnología gris**: almacenamiento y manejo de datos en medio ambiente, geología, gestión de recursos hídricos y riesgo ambiental.

Sobre las áreas emergentes planteadas según las necesidades nacionales, al igual que las tendencias internacionales en relación con las capacidades de investigación del departamento, se concluye que están deben orientarse a la investigación aplicada en las siguientes áreas de conocimiento: biocombustibles, recursos fósiles, adaptación al cambio climático, biorremediación de suelos y cuencas hídricas, gestión del riesgo.

La propuesta de formación tanto a nivel técnico, profesional e investigativo, del departamento de Caldas a cinco años en el ámbito de la biotecnología y bioinformática, debe enmarcarse en el fortalecimiento de los sectores reales y fuertes como en las áreas emergentes ofreciendo servicios académicos de alto nivel y de clase mundial siendo un factor diferenciado y competitivo para el departamento y la Nación.

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE FORMACIÓN E INSERCIÓN LABORAL EN BIOTECNOLOGÍA Y BIOINFORMÁTICA PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDAS

5.1 Introducción

Las áreas planteadas con base en las necesidades nacionales, y las tendencias internacionales en relación con las capacidades de investigación del departamento, permiten concluir que existe la necesidad de realizar una investigación aplicada a las siguientes áreas de conocimiento: biocombustibles (energías alternativas), recursos fósiles, cambio climático, biorremediación de suelos y cuencas hídricas y gestión de riesgos.

Con base en las premisas mencionadas, la propuesta de formación y de generación de un futuro tejido empresarial a nivel de oferta laboral debe estar determinado por las siguientes líneas:

A nivel técnico y tecnológico

- **Tecnología en Alimentos:** Aliados (Universidad de Caldas, SENA, Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales).

A nivel de posgrados

Maestrías:

- **Procesos Industriales orientados a Alimentos:** Aliados (Universidad de Caldas, SENA, Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales).
- **Bionegocios:** Aliados (Universidad de Caldas, SENA, Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, una universidad extranjera).

Doctorados o líneas de énfasis en los programas existentes

- **Aplicaciones TIC en / Biotecnología verde:** en productos prioritarios para el departamento como: cafés especiales, plátano, caña panelera, aguacate y cítricos. A partir de estos productos generar investigaciones orientadas al almacenamiento y manejo de datos en temas de mejoramiento genético, poscosecha, sensorización de cultivos y métricas. Aliados (Universidad de Caldas, SENA, Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales, BIOS).
- **Bigdata en / Biotecnología blanca:** en sectores prioritarios para el departamento

como: lácteos, chocolates y confitería. En temas relacionados con la simulación de procesos, costos de producción, desarrollo de nuevos productos, producción de biocombustibles, recursos fósiles.

- **Aplicaciones TIC en / Biotecnología gris:** en áreas de interés para el departamento como: gestión de recursos hídricos y naturales incluyendo riesgo ambiental. A partir de estos productos generar investigaciones orientadas al almacenamiento y manejo de datos en temas de biorremediación de cuencas hídricas, adaptación al cambio climático, gestión del riesgo ambiental, análisis geológicos y geotécnicos. Aliados (Corpocaldas, Alcaldía de Manizales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, BIOS).

5.2 Construcción de la estrategia según la metodología *Balanced Scorecard*

Con base en la identificación de programas educativos pertinentes para el departamento de Caldas, al tener en cuenta las fortalezas, los sectores económicos y productos estratégicos de la región, se plantea un plan de acción orientado a fortalecer la formación de capital humano e inspirado en la metodología de *Balanced Scorecard*. Ésta permite definir e integrar objetivos estratégicos para materializar una visión, y administrar el conjunto de actividades requeridas para cumplirlos. Igualmente, define metas, indicadores y verificables para hacer seguimiento y evaluación de resultados. Esta ruta de trabajo se define con un horizonte a cinco años, y comprende la integración de esfuerzos de las entidades educativas, gubernamentales y empresariales del departamento de Caldas.

5.2.1 Definición de la visión estratégica.

Ser para el año 2025 el Departamento líder en Colombia en investigación, desarrollo y comercialización de productos y servicios para los sectores de agroindustria y alimentos mediante la formación de capital humano altamente especializado en biotecnología, bionegocios y aplicación de herramientas TIC, en el transcurso de los próximos 5 años.

5.2.2 Definición de cuadro de mando integral.

Objetivo Estratégico N°1: Fortalecer programas académicos existentes y laboratorios del departamento de Caldas.

Actividad 1.1: Contratar docentes internacionales para que impartan clases en las universidades del departamento.

Teniendo en cuenta que en el departamento de Caldas existen programas académicos tales como: ingeniería agronómica, doctorado en ciencias agrarias, maestría y doctorado en ingeniería química, especialización en microbiología industrial, maestría en bioinformática y biología computacional, maestría en microbiología agroindustrial, maestría en ciencias biológicas, maestría en ciencias exactas y naturales, maestría en administración de

sistemas informáticos, entre otras; se considera valioso enriquecer el capital humano y el conocimiento de la región, con saberes especializados de otros países. Para la materialización de éste objetivo se propone traer expertos internacionales que dicten clases en las universidades en temas puntuales en torno a la biotecnología aplicada a la industria y al sector agrícola, en gestión de bionegocios, emprendimiento, manejo de análisis de datos, y desarrollo de aplicaciones para el sector agrícola y de alimentos.

Indicador: número de docentes impartiendo clases en las Universidades del departamento de Caldas y número de cursos o clases dictados.

Meta: 25 docentes en cinco años.

Actividad 1.2: Contratar investigadores extranjeros que realicen estancias de investigación en los laboratorios de las universidades del departamento de Caldas.

En el departamento de Caldas existen centros de investigación como el Instituto de Biotecnología y Agroindustria de la Universidad Nacional de Colombia que dentro de su misión tiene la ejecución de actividades de investigación en las áreas de la biotecnología industrial, agroindustria e industria alimentaria y en su visión busca “ser una institución líder en Colombia en investigación y desarrollo en Biotecnología Industrial y Agroindustria -BIA-”. De igual forma, se encuentra el Instituto de Biotecnología Agropecuaria de la Universidad de Caldas y el Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia. Mediante éste objetivo se pretende fortalecer las capacidades de investigación de estos centros trayendo investigadores internacionales expertos en temas y técnicas específicas solicitadas por los investigadores o requeridos para los proyectos de investigación e innovación en curso, que favorezcan la generación de relaciones humanas/ académicas para la transferencia de conocimiento.

Indicador: número de investigadores extranjeros realizando estancias de investigación al año.

Meta: 10 investigadores extranjeros realizando estancias de investigación en centros de investigación o laboratorios de universidades del departamento de Caldas

Actividad 1.3: Compra de equipos e insumos para los centros de investigación y laboratorios del departamento de Caldas.

La investigación en biotecnología se caracteriza por requerir equipos e insumos de un alto nivel de especialización y elevado costo. Mediante ésta actividad se busca identificar equipos estratégicos e insumos necesarios para que los laboratorios tengan la capacidad de operar en proyectos que contribuyan a hacer de estos centros líderes en investigación aplicada a biotecnología en la industria y el sector agrícola y en el desarrollo de aplicaciones y uso de herramientas TIC a la industria de alimentos y el sector agrícola del departamento.

Tabla 29. Plan de implementación Objetivo Estratégico N°1

Cuadro de Mando Integral										
Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño para Caldas										
Visión	Objetivos Estratégicos	Actividades	Cronograma				Indicador	Meta	Verificable	Actores
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4				
Ser para el año 2025 el Departamento líder en Colombia en investigación, desarrollo y comercialización de productos y servicios para los sectores de agroindustria y alimentos mediante la formación de capital humano altamente especializado en biotecnología, bionegocios y aplicación de herramientas TIC, en el transcurso de los próximos 5 años.	1. Fortalecer programas académicos existentes y laboratorios del Departamento	1.1 Contratar docentes internacionales para que impartan clases en las universidades del Departamento de Caldas (en técnicas especializadas de biotecnología, gestión de bionegocios, análisis de datos masivos en la industria y el sector agrícola)					Número de docentes impartiendo clases en universidades del Departamento de Caldas	5 docentes al año 25 docentes en los 5 años	Certificado de las Universidades del número de docentes extranjeros dictando clases	Universidad Nacional de Colombia (Instituto de biotecnología y agroindustria) Universidad de Caldas (Instituto de biotecnología agropecuaria-programas en ciencias agropecuarias) Universidad Católica de Manizales BIOS Universidades Extranjeras
		1.2 Contratar investigadores extranjeros que realicen estancias de investigación en los laboratorios de las Universidades del Departamento de Caldas (en biotecnología y análisis de datos aplicados al sector de alimentos y agropecuario)					Número de investigadores extranjeros realizando estancias de investigación en las universidades del Departamento de Caldas al año	10 investigadores extranjeros realizando estancias de investigación en universidades del Departamento de Caldas	Certificado de las universidades del número de investigadores extranjeros realizando estancias de investigación	Universidad Nacional de Colombia (instituto de biotecnología y agroindustria) Universidad de Caldas (Instituto de biotecnología agropecuaria-programas en ciencias agropecuarias) Universidad Católica de Manizales BIOS Universidades Extranjeras

Cuadro de Mando Integral Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño para Caldas

Visión	Objetivos Estratégicos	Actividades	Cronograma					Indicador	Meta	Verificable	Actores
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5				
		1.3 Compra de equipos e insumos de laboratorio						Millones de pesos destinados a la compra de equipos e insumos de laboratorio (\$300.000.000 en insumos+ 700.000.000 en máquinas)	1000.000.000 millones de pesos	Certificado de compra de equipos e insumos con justificación técnica de la compra	Universidad Nacional de Colombia (Instituto de biotecnología y agroindustria) Universidad de Caldas (Instituto de biotecnología agropecuaria-programas en ciencias agropecuarias) Universidad Católica de Manizales BIOS
		1.4 Crear un programa de becas en programas de posgrado con tesis de investigación aplicada al sector de alimentos y agrícola						Número de becas concedidas	30 becas	Documento de constancia de becas otorgadas	Gobernación de Caldas Colciencias Ministerio de las TIC Universidad Nacional de Colombia Universidad de Caldas Universidad Católica de Manizales BIOS

Fuente: elaborada por el autor.

Objetivo Estratégico N°2: Crear nuevos programas académicos y líneas de investigación

Actividad 2.1: Diseño y creación de líneas de investigación y programas académicos de forma conjunta con las principales empresas de alimentos y del sector agroindustrial del departamento.

Esta actividad pretende que los nuevos programas y líneas de investigación que se creen tengan un mayor nivel de pertinencia para el sector productivo del departamento. Así mismo, que involucren en las áreas de estudio temas puntuales de interés para las empresas y permitan en el transcurso del proceso formativo la realización de prácticas,

formulación de proyectos de investigación y emprendimiento en temas de interés para la industria de la región.

Indicador: número de investigadores extranjeros realizando estancias de investigación al año

Meta: 3 líneas de investigación a nivel de doctorado; 2 maestrías (Bionegocios y Procesos Biotecnológicos aplicados a alimentos); 2 programas técnicos: en biotecnología aplicada a alimentos y desarrollo de aplicaciones de *software* para el sector de alimentos y agrícola.

Actividad 2.2: Establecer alianzas con empresas para la financiación de formación a nivel técnica y de posgrados.

Con ésta actividad se pretende diversificar las fuentes de financiación para la formación de capital humano requerido en temas, técnicas y conocimientos altamente especializados y específicos para la industria de alimentos y el sector agrícola del departamento de Caldas. Se espera que la formación financiada sea definida por las empresas con el propósito de buscar un mayor nivel de pertinencia y generación de impacto.

Indicador: número de vacantes a financiar mediante alianzas público-privadas.

Meta: 20 vacantes financiadas.

Tabla 30. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 2

Cuadro de Mando Integral Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño para Caldas										
Visión	Objetivos Estratégicos	Actividades	Cronograma				Indicador	Meta	Verificable	Actores
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4				
Ser para el año 2025 el Departamento líder en Colombia en investigación, desarrollo y comercialización de productos y servicios para los sectores de agroindustria y alimentos mediante la formación de capital humano altamente especializado en biotecnología, bionegocios y aplicación de herramientas TIC, en el transcurso de los próximos 5 años.	2. Crear nuevos programas académicos y líneas de investigación	2.1 Diseñar y creación de líneas de investigación y programas académicos de forma conjunta con las principales empresas de alimentos y del sector agroindustrial del Departamento.					<p>Número de líneas de investigación diseñadas y aprobadas</p> <p>Número de programas de maestría creados Y aprobados por el Ministerio de Educación Nacional</p> <p>Número de programas técnicos o tecnológicos creados y aprobados por el Ministerio de Educación Nacional</p>	<p>3 líneas de investigación a nivel de doctorado</p> <p>2 maestrías</p> <p>2 programas de formación técnica o tecnológica</p>	<p>Documento que especifique líneas de investigación aprobadas</p> <p>Dos maestrías aprobadas por el Ministerio de Educación Nacional</p> <p>2 programas técnicos o tecnológicos aprobados por el Ministerio de Educación Nacional</p>	<p>Universidad Nacional de Colombia</p> <p>Universidad de Caldas</p> <p>Universidad Católica de Manizales</p> <p>Casa Lucker Super de Alimentos Celema</p> <p>Normandy Meals de Colombia</p> <p>Otras</p>
		2.2 Establecer alianzas con empresas para la financiación de la formación a nivel técnica y de posgrados.					<p>Números de vacantes a financiar mediante alianzas</p>	<p>20 vacantes financiadas</p>	<p>Convenio firmado con las empresas que dé constancia de las vacantes a financiar</p>	<p>Empresas del Sector TIC</p> <p>Casa Lucker Super de Alimentos Celema</p> <p>Normandy Meais de Colombia</p> <p>Otras</p>

Fuente: elaborada por el autor.

Objetivo Estratégico N°3: Crear nuevos productos y procesos para las empresas

Actividad 3.1: Financiar las tesis de grado en investigación aplicada en bioinformática, biología computacional y biotecnología para el sector de alimentos y agrícola con el objetivo de desarrollar nuevos productos y optimización de procesos

Reconociendo que en el conjunto de los principales problemas identificados para lograr el desarrollo comercial del sector biotecnológico en Colombia, se encuentra el tema de transferencia tecnológica y comercialización de tecnología, el plan quinquenal incluye en sus objetivos estratégicos actividades orientadas a promover la aplicación de conocimiento en empresas del departamento de Caldas con el propósito de impactar el sector productivo de la región e incentivar las dinámicas de trabajo entre la academia y las industrias. Razón por la cual, la actividad 3.1 pretende incentivar la investigación aplicada y el emprendimiento a través de la financiación de tesis de grado en bioinformática, biotecnología para el sector industrial, especialmente en alimentos, producción agrícola, desarrollo de aplicaciones de software y uso de herramientas TIC en estos mismos sectores.

Indicador: número de tesis de investigación aplicada financiadas.

Meta: 30 tesis de grado.

Actividad 3.2: Traer expertos internacionales en transferencia de conocimiento, incubación y aceleración de Spin-Off y Start Ups en el sector de alimentos y agrícola que entrenen personas de la región en el tema y asesoren proyectos de investigación aplicada.

Con el objetivo de crear capacidades y personal preparado en el departamento de Caldas para desarrollar dinámicas de uso del conocimiento que se genere en los centros de investigación de la región y como resultado de las tesis de investigación de los programas de posgrado, la actividad 3.2 pretende traer expertos internacionales en transferencia de conocimiento, comercialización de tecnología, incubación y aceleración de *Spin-Off* y *Start-Ups*. El propósito principal de ésta actividad será el entrenar personal y fortalecer el conocimiento y la experiencia que hay en las universidades del departamento en los temas de forma que se combine la experiencia regional con lecciones de aprendizaje de países exitosos y referentes a nivel mundial en los temas en mención. Finalmente, aprovechar la experiencia de los expertos que se traigan para asesorar los proyectos de investigación y emprendimiento que se estén gestando en las instituciones académicas.

Indicador: 1. Número de expertos traídos al Departamento; 2. Número de proyectos asesorados; 3. Número de universidades asesoradas

Meta: 1. 10 expertos; 2. Diez proyectos; 3. Tres universidades

Tabla 31. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 3

Cuadro de Mando Integral Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño para Caldas										
Visión	Objetivos Estratégicos	Actividades	Cronograma				Indicador	Meta	Verificable	Actores
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4				
Ser para el año 2025 el Departamento líder en Colombia en investigación, desarrollo y comercialización de productos y servicios para los sectores de agroindustria y alimentos mediante la formación de capital humano altamente especializado en biotecnología, bionegocios y aplicación de herramientas TIC, en el transcurso de los próximos 5 años.	3. Crear nuevos productos y procesos para las empresas	3.1 Financiar tesis de grado en investigación aplicada en biomatemática, biología computacional y biotecnología para el sector de alimentos y agrícola con el objetivo de desarrollar nuevos productos y optimizar procesos.					Número de tesis de investigación aplicada financiadas	30 tesis de grado financiadas	Certificado de dinero desembolsado para financiación de las tesis	Colciencias BIOS-MinTIC Gobernación de Caldas
		3.2 Traer expertos internacionales en transferencia de conocimiento, incubación y aceleración de Spin-Off y Start Ups en el sector de alimentos y agrícola que entrenen personas de la región en el tema y asesoren proyectos de investigación aplicada					Número de expertos traídos al Departamento Número de proyectos asesorados Número de universidades asesoradas	10 expertos 10 proyectos 3 Universidades	Constancias de las asesorías y entrenamientos realizados	Universidad Nacional de Colombia Universidad de Caldas Universidad Católica de Manizales BIOS Expertos internacionales

Fuente: elaborada por el autor.

Objetivo Estratégico N°4: Fomentar la inserción laboral del personal formado

Actividad 4.1: Financiar la realización de prácticas laborales de seis meses en proyectos de investigación aplicada y emprendimiento para las empresas del departamento de Caldas.

Reconociendo que existe la necesidad de que el personal que trabaje en proyectos de investigación aplicada, innovación y emprendimiento tengan mayores posibilidades de insertarse en el mercado laboral del departamento de Caldas, la actividad 4.1 busca financiar la realización de prácticas laborales por periodos de seis meses con el objetivo de aplicar el conocimiento generado y realizar prácticas necesarias para dar continuación a los proyectos de investigación, buscando generar procesos de transferencia tecnológica.

Indicador: 1. Número de prácticas laborales financiadas

Meta: 30 Estudiantes realizando prácticas laborales

Actividad 4.2: Financiar con recursos públicos un porcentaje de la vinculación laboral de Doctores a través de la creación de membrecías con base en la productividad científica y de innovación.

Teniendo en cuenta que la vinculación laboral de profesionales con nivel de formación de Doctorado resulta costosa para las empresas, y que se requiere fortalecer las dinámicas de trabajo entre la comunidad académica y el sector productivo, la actividad 4.2 busca desarrollar mecanismos de vinculación laboral de investigadores para trabajar en los problemas puntuales de las empresas de la industria de alimentos y el sector agrícola del departamento de Caldas. Para ello, se desarrollarán membrecías que se otorgarán a los investigadores con base en la productividad científica, en proyectos de innovación y desarrollo, para el sector productivo; que podrán formularse de manera conjunta con las empresas. Los investigadores beneficiados con las membrecías recibirán un porcentaje de su sueldo financiado por recursos públicos. La duración del contrato que se desarrolle será inicialmente de dos años, con posibilidad de prórroga a un año adicional con base en el desempeño y la productividad investigativa y de aplicación.

Indicador: 1. Número de profesionales con formación de doctorado que reciben membrecías para trabajar en empresas

Meta: 20 membrecías otorgadas

Tabla 32. Plan de implementación Objetivo Estratégico N° 4.

Cuadro de Mando Integral Plan Quinquenal de Formación e Inserción Laboral en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño Para Caldas										
Visión	Objetivos Estratégicos	Actividades	Cronograma				Indicador	Meta	Verificable	Actores
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4				
Ser para el año 2025 el Departamento líder en Colombia en investigación, desarrollo y comercialización de productos y servicios para los sectores de agroindustria y alimentos mediante la formación de capital humano altamente especializado en biotecnología, bionegocios y aplicación de herramientas TIC, en el transcurso de los próximos 5 años.	4. Fomentar la inserción laboral del personal formado	4.1 Financiar la realización de prácticas laborales de 6 meses en proyectos de investigación aplicada y emprendimiento para la empresas del Departamento de Caldas					Número de prácticas laborales financiadas	30 personas	Certificación del entrenamiento recibido por parte de universidades y empresas	Empresas el Departamento de Caldas Universidad Nacional de Colombia Universidad Católica de Manizales Universidad de Caldas
		4.2 Financiar con recursos públicos un porcentaje de la vinculación laboral de doctores a través de la creación de membresías con base en la productividad científica y de innovación.					Número de doctores financiados trabajando para empresas	20 membresías otorgadas	Certificación de doctores financiados y vinculados a empresas	Gobernación de Caldas Empresas del Departamento de Caldas

Fuente: elaborada por el autor.

GLOSARIO

- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo.
- **Big Data:** tendencia en el avance de la tecnología que ha abierto las puertas hacia un nuevo enfoque de entendimiento y toma de decisiones, la cual es utilizada para describir enormes cantidades de datos (estructurados, no estructurados y semiestructurados) que cargarlos a una base de datos para su análisis tomaría demasiado tiempo y sería muy costoso (Barranco, 2012).
- **Bioeconomía:** aplicación de soluciones tecnológicas derivadas de la biotecnología empleada en la producción primaria (agricultura), industria y salud, a partir del estudio y uso de conocimiento avanzado de genes, procesos celulares complejos, biomasa renovable, y en general la integración de las aplicaciones de la biotecnología en todos los sectores de la economía.
- **Biocompositos:** material compuesto por una mezcla de resina con fibras naturales principalmente derivadas de plantas o celulosa, y que en algunos casos tienen propiedades de menor impacto en el medio ambiente o son capaces de fortalecer algunas de las propiedades de materiales vivos.
- **Bioinformática:** campo interdisciplinario que emplea métodos y herramientas de computacionales y de *software* para el análisis y la comprensión de cantidades masivas de información biológica.
- **Biointropic:** empresa de innovación y negocios en biodiversidad y biotecnología.
- **Biología computacional:** aplicación de algoritmos y computadores con el objetivo de facilitar el entendimiento de problemas biológicos.
- **Biomedicamentos:** sustancias terapéuticas obtenidas a través de la aplicación de procesos biotecnológicos para la creación de medicamentos.
- **Bionegocios:** conjunto de actividades de recolección, procesamiento, producción y comercialización de bienes y servicios derivados de la biodiversidad, bajo criterios de sostenibilidad, económica, social y ambiental.
- **Bioprospección:** estudio de los recursos naturales con el objetivo de encontrar organismos y sustancias que puedan tener aplicación comercial en sectores como el industrial, alimentario, cosmético, farmacéutico, entre otros.
- **Biorremediación:** tecnología emergente que hace uso de organismos vivos (plantas, algas, hongos y bacterias) para absorber, degradar o transformar contaminantes, retirarlos, inactivarlos, o atenuar su efecto en el suelo, agua y aire.

- **Biotecnología:** aplicación de ciencia y tecnología a organismos vivos, así como a sus partes, con el objetivo de alterar materiales vivos y no vivos para producción de conocimiento, bienes y servicios.
- **Biotecnología blanca:** biotecnologías aplicada al sector industrial.
- **Biotecnología dorada:** biotecnología que se vale de herramientas computacionales y de *software* para el estudio y comprensión de información biológica y genética.
- **Biotecnología gris:** biotecnología aplicada al medio ambiente.
- **Biotecnología roja:** biotecnología aplicada al sector de la salud.
- **Biotecnología verde:** biotecnología aplicada al sector agrícola.
- **Biosensores:** instrumento para la medición de parámetros biológicos o químicos.
- **Brokers tecnológicos:** firmas consultoras especialistas en conocer las necesidades de I&D que tienen las compañías y conocen departamentos de investigación especializados en universidades y buscan establecer sinergias entre los dos.
- Capital tecnológico: incluye dos componentes: uno tangible relacionado con los activos tecnológicos de la empresa y otro de activos intangibles.
- **CAE:** ingeniería asistida por computador, es el conjunto de programas informáticos orientados a analizar y simular los diseños realizados con el ordenador.
- **CBBC:** Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia
- **CDAC:** Centro de Desarrollo de Computación Avanzada de la India.
- **CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- **Colciencias:** Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología.
- **CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- **Connect Bogotá:** Organización dedicada a prestar apoyo en aceleración de procesos de innovación.
- **Cores:** Unidad lógica/física de procesamiento.
- **D-GRID:** Iniciativa Grid del gobierno de Alemania.

- **FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- **FITI:** Programa de Fortalecimiento de la Industria de Tecnologías de la Información.
- **Gbps:** Gigabit por segundo.
- **GPU:** Unidad de procesamiento gráfico.
- **HPC:** *High Performance Computing* -Computación de Alto Desempeño-.
- **IDC:** Conferencia de desarrolladores de Intel, orientada a las nuevas tecnologías en computación.
- **I&D:** Innovación y Desarrollo.
- **Infiniband:** bus de comunicaciones, serie de alta velocidad, baja latencia para conexiones entre CPUs.
- **Megapixel:** equivale a un millón de píxeles.
- **MinEducación:** Ministerio de Educación Nacional
- **OECD:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- **ONG:** Organización No Gubernamental.
- **ONU:** Organización de las Naciones Unidas.
- **OTS:** Oficina de Ciencia y Tecnología.
- **Plantta:** corporación de planeación y transferencia tecnológica agropecuaria.
- **RAID:** conjunto redundante de discos independientes.
- **RAM:** memoria de acceso aleatorio.
- **RISC:** proyecto establecido entre la Unión Europea en el campo de la computación de alto desempeño para la identificación de cooperación estratégica.
- **SNIES:** Sistema Nacional de Educación Superior.
- **Supercómputo:** se refiere a la utilización de computadoras con capacidades excepcionales, para la realización de investigaciones.

- **TCAC:** Tasa de crecimiento anual compuesto.
- **Tflops-Teraflops:** operaciones en coma flotante usada para medir el rendimiento de una computadora (TFLOPS 1012 FLOPS).
- **TIC:** Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones.
- **Transferencia de conocimiento:** proceso colaborativo que permite transmitir a un tercero el conocimiento generado en la universidad, para ser aplicado por un tercero en un entorno socio-económico.
- **Transferencia de tecnología:** proceso por medio del cual se transfiere habilidades, conocimiento y tecnologías entre centros de investigación, universidades, empresas, gobiernos con el objetivo de facilitar el progreso científico y tecnológico.
- **UNAL:** Universidad Nacional de Colombia -Sede Manizales-.

REFERENCIAS

- Osman-Gani, A. M. (2004). Human capital development in Singapore: An analysis of national policy perspectives. *Advances in developing human resources*, 6(3), 276-287.
- Agenda de Competitividad de Manizales. (2014). Agenda de Competitividad de Manizales 2014.
- Agence Nationale de la Recherche (ANR). (2015). Programme Conception et Simulation. Recuperado de <http://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/historique-des-appels-a-projets/appel-detail1/programme-conception-et-simulation-2009/>.
- AsiaBiotechCorp. (2004). Human Resource Development. ABPN, (4)8. Recuperado de http://www.asiabiotech.com/publication/apbn/08/english/preserved-docs/0817/0946_0947.pdf.
- BioTechCorp. (2009). Malaysian Biotechnology Human Capital Development. Recuperado de http://www.biotechcorp.com.my/wpcontent/uploads/2011/11/publications/Others_Human_Capital_Dev.pdf.
- BioTechNow. (2011). Five international biotech countries to watch. Recuperado de <http://www.biotech-now.org/business-and-investments/2011/06/five-international-biotech-countries-to-watch>.
- Cano, C.G. (2003). “Los diez cimientos de las negociaciones internacionales de comercio en la agricultura”, Intervención del señor ministro de Agricultura y Desarrollo Rural en el foro de Portafolio “Oportunidades y amenazas del ALCA y el TLC”.
- Cassingena, J., Georghiou, L., Keenan, M., Miles, I. & Popper, R (2011). Manual de prospectiva tecnológica-Conceptos y Práctica. México: Flacso.
- Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia (CBBC). (2014). Informe de Levantamiento de Oferta y Demanda Nacional Educativa en Biotecnología y Computación de Alto Desempeño en Colombia. Manizales.
- Centre for Development of Advanced Computing (CDAC). (2015). Supercomputing Applications. Recuperado de http://cdac.in/index.aspx?id=hpc_sa_supercomputing_applications.
- CDG Conseil. (2015). L'emploi et la formation dans les Biotechnologies en 2015. La biotechnologie Santé en France: un capital humain important à valoriser. Recuperado de <http://www.cdgconseil.com/emploi-formation-biotechnologies-en-2015/>.

Larach, M.A. (2001). El comercio de los productos transgénicos: el estado del debate internacional. Revista de la CEPAL, 75. 211-226. Recuperado de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/19328/larach.pdf>.

Lau, Ch., Jarvis, A. & Ramírez, J. (2013). Colombian Agriculture: Adapting to Climate Change. CIAT, 1. Recuperado de http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/12/policy_brief1_colombia_climate_change.pdf.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2011). Política para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología a partir del Uso Sostenible de la Biodiversidad. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3697.pdf>.

Corona, J.M. (2009). Human Capital Formation: The role of Science and Technology Policy A case study in the Mexican Biotechnology Sector (tesis de doctorado). Manchester Business School, Inglaterra. Recuperado de https://www.academia.edu/3786189/The_Role_of_Science_and_Technology_Policy_in_The_Formation_of_Human_Capital_The_case_of_the_Mexican_Biotechnological_Sector.

Dahlander, L & Gann, D. M. (2010). How open is innovation?. Research Policy, 39(6), 699-709.

Del Castillo, S. (21 de Marzo de 2011). El país se está quedando sin agua. El Espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/vivir/el-pais-se-esta-quedando-sin-agua-articulo-258295>.

Departamento Nacional de Planeación. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Bases%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%202014-2018.pdf>.

Dinero. (Junio, 2012). Colombia una oportunidad de negocios para Holanda. Dinero. Recuperado de <http://www.dinero.com/negocios/articulo/colombia-oportunidad-negocios-para-holanda/152890>.

Dunn, W. (2004). Public Policy Analysis, An Introduction. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

El País. (11 de Agosto de 2013). Estos son los problemas que tienen en jaque al agro. El País. Recuperado de <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/estos-son-problemas-tienen-jaque-agro-colombia>.

- Genoma España. (2004). El desarrollo de biotecnología en España a través de la gestión del capital humano. España: Genoma. Recuperado de http://icono.fecyt.es/informesypublicaciones/Documents/2004-El%20desarrollo%20de%20la%20biotecnolog%C3%ADa%20en%20Espa%C3%B1a%20a%20trav%C3%A9s%20de%20la%20gesti%C3%B3n%20del%20capital%20humano-pub_81_d.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2015). La importancia de la biodiversidad agrícola para la seguridad alimentaria, la nutrición y la calidad de vida en América Central Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/k0094s/k0094s02.pdf>.
- Fava, F., Totaro, G., Diels, L., Reis, M., Duarte, J., Carioca, O. B., ... Ferreira, B. S. (2015). Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs. *New biotechnology*, 32(1), 100-108.
- Fortalecimiento de la industria TI (FITI). (2013). Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo de los Sectores ELECTRÓNICA, TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (ETIC). Recuperado de http://www.fiti.gov.co/Images/Recursos/5_Plan_Nacional_de_CTI.pdf.
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., & Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New biotechnology*, 32(1), 147-156.
- GENCI. (2015). Le Comité Stratégique du Calcul Intensif. Recuperado de <http://www.genci.fr/fr/content/le-comit%C3%A9-strat%C3%A9gique-du-calcul-intensif>.
- Hazar-Strateji-Enstitüsü. (Enero 16 de 2015). Economy Center for Energy and Economy. Recuperado de http://www.hazar.org/blogdetail/blog/development_of_human_capital_lessons_from_south_korea_484.aspx?currentCulture=en-US.
- Herd, R.W. (2006). Biotechnology in agriculture. *Annual Review of Environment and Resources*, 265-295.
- Hombres, R. (2014). El problema industrial. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13411641>.
- International Data Corporation (IDC). (2014). IDC HPC Update at ISC'14. Recuperado de http://www.hpctoday.com/files/docs/pdfs/IDC_ISC14_Breakfast_Briefing_slides.pdf.
- INNpuls. (2013). Estudio sobre el potencial de la industria de biotecnología en el país. Entregable A-Mapa de capacidades y potencial de transferencia biotecnológica.

Marketand Research. (2014). Biotechnology market biopharmacy bioservices. Recuperado de <http://www.researchandmarkets.com/reports/3292585/biotechnology-market-biopharmacy-bioservices>.

Mayer, V & Cukier, K. (2013). A revolution that will transform how we live, work and think-Big Data. London: John Murray Publishers.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Mincit). (2014). Recuperado de www.mincit.gov.co/descargar.php?id=6314.

Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., ... Roeser, M. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment*, 410, 154-160.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). (2011). Future Prospects for Industrial Biotechnology. Recuperado de <http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/docs/int/Future%20Prospects%20for%20industrial%20biotechnology.pdf>.

Ordoñez, G. (2013). Manual de análisis y diseño de políticas públicas. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). (2013). Towards Green Growth with Biotechnology-Biotechnology Update-Internal Co-ordination Group with Biotechnology (ICGB). Recuperado de <http://www.oecd.org/science/biotrack/49867087.pdf>.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). (2015). Brazil's Biotech Initiatives. Recuperado de <http://www.oecd.org/sti/biotech/46381658.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.

Otero, G. (1991). The coming revolution of biotechnology: A critique of Buttel. *Sociological Forum*, Volume 6(3), 551-565.

Phillips, P.W. (2002). Biotechnology in the global agri-food system. *Trends in Biotechnology*, Vol.20(9).

Plan Nacional Decenal de Educación. (2006). Plan Nacional Decenal de Educación PNDE 2006-2016. Recuperado de http://www.plandecenal.edu.co/html/1726/articles-166057_edinicial.pdf.

- ResearchandMarkets. (2013). Biotechnology Market (Biopharmacy, Bioservices, Bioagriculture, Bioindustrial, Fermentation, DNA sequencing, Tissue Engineering, Regeneration) Analysis and Segment Forecasts to 2020. Recuperado de <http://www.researchandmarkets.com/reports/3292585/biotechnology-market-biopharmacy-bioservices>.
- Semana. (2010, Noviembre). "El acceso a la tierra ha sido el eje del conflicto armado". Semana. Recuperado de <http://www.semana.com/nacion/articulo/el-acceso-tierra-ha-sido-eje-del-conflicto-armado/125048-3>.
- Semana (2011). Memorias del Foro en Biotecnología y Bionegocios. Semana. Recuperado de <http://www.semana.com/nacion/articulo/en-camino-negocios-biotecnologia/250332-3>.
- Semana. (2013, Agosto). ¿Por qué el descontento agrario llegó a este punto?. Semana. Recuperado de <http://www.semana.com/nacion/articulo/por-que-el-descontento-agrario-llego-este-punto/356111-3>.
- RISC. (2011). European Community "Report on Latin America an European Union Opportunities. Recuperado de <http://dcafm6pni3uwy.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/03/RISC-D2-4-ReportOnLAandEUopportunities-v1-0.pdf>.
- Rodríguez, C.G. (2 de Julio de 2015). En 30 años se han derramado 4,1 millones de barriles de petróleo. La República. Recuperado de http://www.larepublica.co/en-30-a%C3%B1os-se-han-derramado-41-millones-de-barriles-de-petr%C3%B3leo_272086.
- Rothmayr, C & Varone, F. É. É. (Eds.). (2007). The politics of biotechnology in North America and Europe: policy networks, institutions and internationalization. Lexington Books.
- Ruiz, C. (17 de Marzo de 2014). Rentabilidad del agro, principal problema para exportar. La República. Recuperado de http://www.larepublica.co/comercio-exterior/rentabilidad-del-agro-principal-problema-para-exportar_124096.
- Kratochwil, F & Ruggie, J. G. (1986). International Organization: A State of the Art on an Art of the State. International organization, 40(04), 753-775.
- Sandoval, H & Domínguez, J.C. (2014, Abril). La industria y el agro no ven caminos para su reactivación. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/problemas-del-agro-y-la-industria-colombia>.
- Sawyer, M. (2011). A Strategy for research and innovation through-High Performance Computing. Scotland: The University of Edinburgh.

Transparency Market Research. (2013). Bioremediation Technologies and Services Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013 - 2019. Recuperado de <http://www.transparencymarketresearch.com/bioremediation-technologies-services.html>.

Uma, L. (2003). Biotechnology: Opportunities and Challenges for Developing Countries. *American Journal of Agricultural Economics*, (85) 5. 1119-1125.

Universidad Nacional. (2012). Plan Global de Desarrollo 2010-2012-Prospectiva UN-Agendas de Conocimiento. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Marx, V. (2013). Biology: The big challenges of big data. *Nature International Weekly Journal of Science*, 498. Recuperado de <http://www.nature.com/nature/journal/v498/n7453/full/498255a.html>.

Hager, G & Wellein, G. (2010). *Introduction to High Performance Computing for Scientist and Engineers*. United States: CRC PRESS - A Chapman & Hall Book.

Wiley, J & Sons, Inc. (2009). *Biotech Visions. Engineering in life sciences*, 9(6)

Zucker, L. G., Darby, M. R. & Brewer, M. B. (1994). Intellectual capital and the birth of US biotechnology enterprises (No.4653). National Bureau of Economic Research

Anexos

Anexo N°1 Oferta nacional educativa en biotecnología, bioinformática, biología computacional y HPC-2014

Cuadro 1

UNIVERSIDAD	CIUDAD	SECTOR	FACULTAD	OFERTA NACIONAL							
				CURSOS DE CURTA DURACION	DIPLOMADO	TÉCNICA	TECNOLÓGICA	PREGRADO	ESPECIALIZACIÓN	MAESTRÍA	DOCTORADO
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES	X	X	X	X	X	X	X	DOCTORADO EN BIOTECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA	PAMPLONA	PÚBLICA	CIENCIAS BÁSICAS	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA	PAMPLONA	PÚBLICA	CIENCIAS BÁSICAS	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	BOGOTÁ	PÚBLICA	CIENCIAS	X	X	X	X	X	X	X	DOCTORADO EN BIOTECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS	X	X	X	X	X	X	X	DOCTORADO EN BIOTECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS	X	X	X	X	X	ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA	X	X
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD DE CALDAS	MANIZALES	PÚBLICA	N/A	X	X	X	TECNOLOGÍA EN PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS	X	X	X	X
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA - UTP	PEREIRA	PÚBLICA	CIENCIAS DE LA SALUD	X	X	X	X	X	ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGÍA	X	X
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA - UTP	PEREIRA	PÚBLICA	CIENCIAS DE LA SALUD	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	BOGOTÁ D.C.	PÚBLICA	CIENCIAS	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	MONTEBÍA	PÚBLICA	CIENCIAS BÁSICAS	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS DE LA SALUD	X	X	X	X	BIOTECNOLOGÍA	X	X	X
UNIVERSIDAD DE CALDAS	MANIZALES	PÚBLICA	N/A	X	X	TÉCNICA PROFESIONAL EN APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS DE LABORATORIO	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA	MEDELLÍN	PRIVADA	ESCUELA DE INGENIERÍA	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA	IBAGUÉ	PÚBLICA	CIENCIAS	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD DE LA SALLE	BOGOTÁ	PRIVADA	CIENCIAS AGROPECUARIAS	X	X	X	X	X	ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN	X	X
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA	POPAYÁN	PÚBLICA	N/A	X	X	X	TECNOLOGÍA EN AGROBIOTECNOLOGÍA	X	X	X	X
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME SAZ CAZAVID	MEDELLÍN	PÚBLICA	CIENCIAS AGRARIAS	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN ANIMAL	X	X	X	X	X	X
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME SAZ CAZAVID	MEDELLÍN	PRIVADA	CIENCIAS AGRARIAS	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	MONTEBÍA	PÚBLICA	MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN DE LA SEMEZA BOVINA	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	CALI	PRIVADA	INGENIERÍA	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA DE POLÍMEROS	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	CALI	PRIVADA	INGENIERÍA	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA		PÚBLICA	N/A	X	X	X	TECNOLOGÍA EN PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS A LA	X	X	X	X
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	BOGOTÁ	PÚBLICA	CIENCIAS	X	DIPLOMADO EN BIOTECNOLOGÍA Y ENSEÑANZA DE BIOTECNOLOGÍA	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	BOGOTÁ	PÚBLICA	INGENIERÍA	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN BIOTECNOLOGÍA	BOGOTÁ	PRIVADA	N/A	BIOTECNOLOGÍA COMPUTACIONAL CIDA	X	X	X	X	X	X	X
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN BIOTECNOLOGÍA	BOGOTÁ	PRIVADA	N/A	INTRODUCCIÓN A LA BIOCOMPUTACIÓN	X	X	X	X	X	X	X
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN BIOTECNOLOGÍA	BOGOTÁ	PRIVADA	N/A	ANÁLISIS FUNCIONAL DE SECuencias	X	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	BOGOTÁ D.C.	PÚBLICA	INGENIERIA	CURSO EN BIOLOGIA COMPUTACIONAL	X	X	X	X	X	X	X
CORPOGEN	BOGOTÁ D.C.	PRIVADA	N/A	CURSO EN BIOINFORMÁTICA BÁSICA	X	X	X	X	X	X	X
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES	MANIZALES	PRIVADA	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN MICROBIOLOGÍA AGROINDUSTRIAL	X
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES	MANIZALES	PRIVADA	INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL	X	X	X	X	X	ESPECIALIZACIÓN EN MICROBIOLOGÍA AGROINDUSTRIAL	X	X
VARIAS UNIVERSIDADES + FUNDACIÓN LUKER	MANIZALES	PRIVADA	X	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL	X
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	BOGOTÁ D.C.	PRIVADA	INGENIERÍA	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA COMPUTACIONAL	X
UNIVERSIDAD KESI	CALI	PRIVADA	CIENCIAS NATURALES	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA COMPUTACIONAL	X
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE	ROÑEGURO - ANTIOQUIA	PRIVADA	CIENCIAS AGROPECUARIAS	X	X	X	X	X	X	MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA	X
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE	ROÑEGURO - ANTIOQUIA	PRIVADA	CIENCIAS AGROPECUARIAS	X	X	X	X	X	X	X	DOCTORADO EN BIOTECNOLOGÍA

PLAN QUINQUENAL

CÓDIGO SNIES	ÁREA DE CONOCIMIENTO	NÚCLEO BÁSICO DE CONOCIMIENTO	NIVEL DE ACREDITACIÓN NACIONAL- MINISTERIO DE E	ACREDITACIÓN INTERNACIONAL	NO. CREDITOS	OPORTUNIDAD NACIONAL		MODALIDAD	CONVENIOS NACIONALES		CONVENIOS INTERNACIONALES		HOMOLOGACIÓN	DOBLE TITULACIÓN	VALOR	
						DURACIÓN	HORAS		CONVENIOS NACIONALES	CONVENIOS INTERNACIONALES	CONVENIOS NACIONALES	CONVENIOS INTERNACIONALES			VALOR	SEMESTRE
16857	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	7	NO	61	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	4.312.000	SEMESTRAL
54787	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	7	NO	115	MESES	48	PRESENCIAL	SI	NO	N/A	NO	N/A	NO	3.080.000	SEMESTRAL
20399	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	5	NO	48	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	3.831.750	SEMESTRAL
54277	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	7	NO	48	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	3.831.751	SEMESTRAL
52728	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	N/A	NO	120	MESES	48	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.927.920	SEMESTRAL
55188	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	N/A	NO	150	MESES	48	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.927.920	SEMESTRAL
16927	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	N/A	NO	30	MESES	18	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.106.600	SEMESTRAL
19861	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	N/A	NO	70	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.106.600	SEMESTRAL
54968	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	AGRONOMÍA	N/A	NO	90	MESES	18	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	N/A	N/A
6698	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	5	NO	35	MESES	18	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	3.242.250	SEMESTRAL
16002	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	7	NO	60	MESES	30	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	5.305.500	SEMESTRAL
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	HORAS	120	PRESENCIAL	NO	N/A	N/A	NO	N/A	N/A	1.800.000	TOTAL
53053	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	QUÍMICA Y AFINES	7	NO	46	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.132.000	SEMESTRAL
17498	CIENCIAS DE LA SALUD	MEDICINA	7	NO	169	MESES	54	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	1.597.450	SEMESTRAL
54969	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	AGRONOMÍA	N/A	NO	60	MESES	2	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	N/A	N/A
16137	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	7	NO	48	MESES	24	PRESENCIAL	SI	NO	N/A	SI	CONVENIOS NACIONALES DE DOCTORADO DE BIOTECNOLOGÍA	NO	8.392.000	SEMESTRAL
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
52276	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	MEDICINA VETERINARIA	7	NO	22	MESES	12	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	SI	7.277.000	SEMESTRAL
91149	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	AGRONOMÍA	7	NO	97	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS	120	PRESENCIAL	SI	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.800.000	TODO
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS	120	PRESENCIAL	SI	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.800.000	TODO
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS	120	PRESENCIAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.500.000	TODO
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS	120	PRESENCIAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.800.000	TODO
91519				NO		MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	NO	N/A	NO		
91204	ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN, CONTABILIDAD Y AFINES	ADMINISTRACIÓN	7	NO	98	MESES	24	PRESENCIAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	HORAS	100	PRESENCIAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.600.000	TODO
102404	INGENIERÍA, ARQUITECTURA, URBANISMO Y AFINES	INGENIERÍA DE SISTEMAS, TELEMATICA Y AFINES	7	NO	52	MESES	24	PRESENCIAL	NO	NO	N/A	SI	HOMOLOGACIÓN DE ASIGNATURAS	NO	4.927.920	SEMESTRAL
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	NO TEL		VIRTUAL	NO	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	NO TEL	NO TEL
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	NO TEL		VIRTUAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	NO TEL	NO TEL
N/A	N/A	N/A	N/A	NO	N/A	NO TEL		VIRTUAL	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	NO TEL	NO TEL
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			VIRTUAL						N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	DIAS	3	PRESENCIAL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	300.000	TOTAL
91325	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	AGRONOMÍA	7	NO	55	MESES	24	PRESENCIAL	X	SI	N/A	N/A	N/A	N/A	5.460.000	SEMESTRE
10028	AGRONOMÍA VETERINARIA Y AFINES	AGRONOMÍA	X	NO	24	MESES	18	PRESENCIAL	X	NO	N/A	N/A	N/A	N/A	3.807.000	SEMESTRE
X	X	X	X	NO	X	MESES	24	PRESENCIAL	X	X	X	X	X	X	X	X
102711	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	SIN CLASIFICAR	7	X	40	MESES	12	PRESENCIAL	X	X	X	X	X	X	3.580.000	CREDITOS
103616	MATEMÁTICAS Y CIENCIAS NATURALES	SIN CLASIFICAR	7	X	51	MESES	24	PRESENCIAL	X	X	X	X	X	X	7.900.000	SEMESTRE
16137	X	X	X	X	48	MESES	24	PRESENCIAL	X	X	X	X	X	X	X	X
54787	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Anexo N°2

Anexo N°1 Identificación de necesidades nacionales de algunos sectores

Cuadro 2

Identificación de Necesidades Nacionales de Algunos Sectores			
Sector	Problemas	Necesidad	Tipo de biotecnología asociada
Agrícola	Problemas estructurales e históricos: Concentración de la tierra-escasez de tierra, desplazamiento de mano de obra por conflicto armado y variables socioeconómicas (RevistaSemana, 2010).	x	x
	Problemas de mercado: apertura económica,-crecientes importaciones, contrabando, fluctuación de tasa de cambio-bajos precios, admisibilidad en mercados internacionales asociados a normas fitosanitarias (EIPais,2013).	x	x
	Problemas de competitividad: elevados precios de agroinsumos que incrementan los costos de producción; precario uso de tecnología. Rentabilidad del agro principal problema para exportar (LaRepública,2014) Su precio está cerca de un 50% por encima del internacional, lo que hace que “una misma cosecha sea 4 veces más cara para los colombianos” (LaSillaVacía,2013). Se requiere reducir el precio de los fertilizantes (RevistaSemana, 2013)	Controladores biológicos, biofertilizantes e insumos agrícolas de bajo costo (1). Además, que no generen problemas frente a normas fitosanitarias en mercados internacionales	Biotecnología verde (Aplicada a agricultura)
	Problemas asociados a cambio climático: El sector agrícola enfrentará: incrementos en la temperatura, estrés hídrico, precipitaciones erráticas, mayores plagas y enfermedades (CIAT, 2012).	Variedades resistentes al cambio climático	Biotecnología verde (Aplicada a agricultura)
	Problemas relacionados con seguridad alimentaria: El país produce los mismos productos exportables desde hace 20 años(LaRepública, 2014)(FAO; 2015).	x	x

Identificación de Necesidades Nacionales de Algunos Sectores

Sector	Problemas	Necesidad	Tipo de biotecnología asociada
Industria	Problemas de competitividad- creciente competitividad a nivel internacional (Portafolio,2014)	Desarrollo de productos innovadores	Biología blanca (Aplicada a la industria)
	Problemas de productividad (ElTiempo, 2014)	Desarrollo de procesos que incrementen la productividad	Biología blanca (Aplicada a la industria)
	Relativo escaso valor agregado (ElTiempo, 2014)	Desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios industriales con carácter innovador	Biología blanca (Aplicada a la industria)
	Escaso uso y aprovechamiento de residuos sólidos y biomasa, tanto del sector industrial como del sector agroindustrial (RevistaDinero, 2012)	Desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios industriales	Biología blanca (Aplicada a la industria)
Medio Ambiente	Contaminación de recursos hídricos y alimentación con mercurio y cianuro: Colombia es el tercer país del mundo con mayor contaminación per cápita con mercurio (NCBI, 2011). Está problemática afecta a 80 municipios de 17 departamentos, producto de la minería (El tiempo, 2014). El segundo problema ambiental de país, es la contaminación de los recursos hídricos, en parte debido al alto número de desechos, que son arrojados por curtiembres e industrias a ríos, cuencas y lagos. (El espectador, 2011)	Procesos de biorremediación	Biología gris (Aplicada a medio ambiente)
	Contaminación de suelos y recursos hídricos por derrames petroleros: En general, en los últimos 30 años se han derramado 4,1 millones de barriles de petróleo, el incidente del barco Exxon Valdez, en Alaska, considerada el mayor incidente de contaminación por petróleo en el mundo y cuyo impacto ambiental aún no ha sido superado, virtió 261.000 (La República, 2015).	Procesos de biorremediación	Biología gris (Aplicada a medio ambiente)

<p>Salud</p>	<p>De acuerdo con la medición epidemiológica realizada por el Ministerio de Salud, en Colombia las enfermedades que más se presentan son:</p> <p>1. No transmisibles: Enfermedades crónicas y degenerativas Enfermedades cardiovasculares, cáncer, deficiencia pulmonar crónica y diabetes.</p> <p>2. Eventos de causa externa: Lesiones personales, y demás, derivadas de la violencia, de la delincuencia , violencia intrafamiliar y accidentes de tráfico. Conflicto armado no ocupa principales lugares en éste renglón.</p> <p>3. Transmisibles: Enfermedades infectocontagiosas: infecciones respiratorias, diarreicas en niños, VIH,dengue, malaria y tuberculosis (CaracolRadio,2013).</p>	<p>Desarrollo de herramientas de diagnóstico, pronóstico, terapia y control</p>	<p>Biotechnología roja (Aplicada a salud)</p>
<p>Nota: 1. No necesariamente la introducción a herramientas tecnológicas conduce a una reducción de costos. Sin embargo, se hace alusión a estas como una oportunidad para generar desarrollos con ésta característica.</p>			

Anexo N°3

Análisis de productividad del sector Primario para el departamento de Caldas

El presente cuadro evidencia la producción nacional en relación con los datos de exportación y producción del departamento de Caldas.

Cuadro 3

	Producción nacional	Exportaciones nacionales 2014	Producción Departamento de Caldas		
Café	Producción de café 2014	1.035.560 toneladas	2.516. 695 USD	Producción de café 2013	60.000 toneladas
	Hectáreas cultivadas café	756.195 hectáreas		Hectáreas cultivadas café 2013	77.559 hectáreas
Plátano	Producción de Plátano 2014	906.752 toneladas	116.224 USD	Producción de Plátano 2014	180.000 toneladas aprox.
	Hectáreas cultivadas de plátano	245.576 hectáreas		Hectáreas cultivadas de plátano	21.000 hectáreas
Caña panelera	Producción Caña panelera 2014	1.312.122 toneladas			
	Hectáreas plantadas de caña panelera	172373 hectáreas			
Naranja	Producción naranja 2014	384.309 toneladas	25.467 miles de USD	Producción de Naranja 2012	1200 hectáreas
	Hectáreas plantadas de naranja	36.654 hectáreas		Hectáreas cultivadas de naranja 2012	4791 toneladas
Leche	Producción de leche 2014	17. 554.680 litros	26.422 miles de USD	Total litros de leche producida 2013	13.119.456 litros
	Vacas en ordeño	2801063 vacas		Vacas de ordeño 2013	409478 vacas



“Fortalecimiento de ciencia, tecnología e innovación en biotecnología para el departamento de Caldas apoyado por infraestructura computacional avanzada y trabajo colaborativo”

“Caldas Bio-región” es un proyecto de regalías CTel en Caldas, desarrollado entre los años 2013 y 2017 para fortalecer la formación, infraestructura tecnológica, el trabajo colaborativo y la investigación e innovación en el ecosistema empresarial del país, a través de la biotecnología para generar valor agregado que permita participar con altos estándares de competitividad y calidad en los mercados globalizados.



Sede Manizales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ISBN: 978-958-59498-6-7

