



LA COLABORACIÓN EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN- DESARROLLO EN BIOINFORMÁTICA. DE LA DISPERSIÓN A LA INTEGRACIÓN

Una propuesta de acciones desde el ámbito de los Estudios Sociales en
Ciencia y tecnología

Autores: MSc. Delly Lien González Hernández (delly@uci.cu)
MSc. Vero Edilio Rodríguez Orrego (vrodriguez@ucf.edu.cu)
Dr. Juan Pedro Febles Rodríguez (febles@bionfo.cu)

- La Habana, diciembre 2007

RESUMEN

Se presenta una propuesta de acciones para favorecer una integración más efectiva en la colaboración de la Universidad de las Ciencias Informáticas con el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología y el Centro de Inmunología Molecular en los proyectos de Investigación-Desarrollo en Bioinformática. Con la aplicación de métodos y técnicas cualitativas y la contribución de líderes, estudiantes, profesores, investigadores, directivos y otros especialistas, se elaboró un diagnóstico con las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la colaboración en los dos casos estudiados y se caracterizó ésta en el marco de los proyectos. A partir de aquí y mediante la combinación de las técnicas conocidas como Grupo Focal y Análisis del Campo de Fuerzas, se construyó la propuesta que se estructura en dos partes: una dirigida a establecer qué acciones se pueden emprender y la otra, encaminada a sugerir cómo materializarlas. Este trabajo permite además un acercamiento a la situación actual de la Bioinformática en el país a través del grupo que cursa la primera edición de la Maestría cubana en esta disciplina. La propuesta contribuirá al fortalecimiento de la integración de la universidad con ambas instituciones.

Índice.....	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL ESTUDIO DE LA COLABORACIÓN EN PROYECTOS DE I+D EN BIOINFORMÁTICA.....	10
1.1. La Bioinformática, una disciplina emergente.....	10
1.1.1. Dominios de investigación bioinformática.....	13
1.1.2. Métodos e instrumentos utilizados en la Bioinformática	14
1.1.3. Bioinformática, interdisciplinariedad y formación de recursos humanos	15
1.2.	17
1.2.1. Áreas de investigación bioinformática en el mundo	18
1.2.2. Cooperación internacional en Bioinformática. Principales proyectos, instituciones y países comprometidos.....	18
1.2.3. Fortalezas y ventajas de la cooperación internacional en proyectos de I+D en Bioinformática	21
1.3.	23
1.3.1. Vínculo universidad-sector productivo en el contexto latinoamericano actual. Sus perspectivas	25
1.3.2. El caso cubano	31
1.4. Redes y actores: Una aproximación conceptual	36
1.5.	41
1.5.1. Organización del trabajo. Principales instituciones y centros vinculados al desarrollo de la Bioinformática.	42
1.5.2. Formación de recursos humanos para el desarrollo de la Bioinformática en el país	44
1.5.3. Actividades científicas realizadas que han estimulado el desarrollo de la especialidad	46
1.5.4. Áreas y temas de investigación abordados desde Cuba.....	47
1.6.	48
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA COLABORACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS CON EL CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA Y EL CENTRO DE INMUNOLOGÍA MOLECULAR EN PROYECTOS DE I+D EN BIOINFORMÁTICA	50
2.1 Caracterización de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI)	51
2.1.1 Surgimiento, misión y características generales	51
2.1.2. Formación académica	56
2.1.3. Producción	57
2.1.4. Investigaciones	59
2.1.5. Extensión universitaria y residencia	60
2.1.6 Tecnologías.....	61
2.1.7 Otras tareas	61
2.2 Caracterización del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB)	62
2.2.1. Surgimiento, misión y características generales	62
2.2.2. Investigación y Desarrollo (I+D).....	65
2.2.3. Producción	66
2.2.4. Comercialización.....	68
2.2.5. Otras áreas de interés	69

2.3. Caracterización del Centro de Inmunología Molecular (CIM)	70
2.3.1. Surgimiento, misión y características generales	69
2.3.2. Investigación y Desarrollo (I+D).....	71
2.3.3. Producción	72
2.3.4. Comercialización.....	73
2.4. A modo de silogismo sobre los dos centros de I+D	75
2.5. La colaboración de la UCI en los proyectos de I+D en Bioinformática.....	75
2.5.1. Con el CIGB.....	77
2.5.2. Con el CIM	84
2.6. Recomendaciones para el desarrollo de proyectos de software en Bioinformática	86
CAPÍTULO 3. HACIA EL ESTADO DESEADO: INTEGRACIÓN SINÉRGICA Y ORGANIZADA. PROPUESTA DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
3.1. Técnicas cualitativas mediante grupos. El "Grupo Focal" y el "Análisis del Campo de Fuerzas"	91
3.1.1. La técnica del Grupo Focal (Focus Group). Sus características	92
3.1.2. La Técnica del Análisis del Campo de Fuerzas. Sus características	94
3.2. Aplicación combinada de las técnicas del Grupo Focal y Análisis del Campo de Fuerzas. Valoración de los resultados	95
3.3. Propuesta de acciones para lograr una integración sinérgica y organizada.....	101
3.3.1. Propuesta de acciones. Parte 1. ¿Qué se puede hacer?	101
3.3.2. Propuesta de acciones. Parte 2. ¿Cómo desarrollarlas?	103
3.4. Una oportunidad: primera edición en Cuba de la Maestría en Bioinformática.....	110
CONSIDERACIONES FINALES DEL TRABAJO	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
GLOSARIO	

INTRODUCCIÓN

"La idea de que la ciencia solo concierne a los científicos es tan anticientífica como es antipoética asumir que la poesía sola concierne a los poetas."

Gabriel García Márquez

El desarrollo científico del siglo XX fue haciendo borrosas las fronteras entre una "especialidad" y otra y convirtió en una de las fuentes principales de creatividad precisamente a la capacidad de abordar problemas utilizando conceptos, datos y enfoques de otras, a veces aparentemente distantes.

En tal sentido, pudiera afirmarse que los científicos ya casi no tienen "especialidades" sino que poseen un conjunto de conocimientos y habilidades tomadas de diferentes campos y constantemente modificados que permiten intentar encontrar soluciones nuevas a problemas viejos e incluso a problemas nuevos (Lage, 2002).

Una muestra evidente de esta opinión, lo constituye la emergencia en las dos últimas décadas de un nuevo campo de estudios, constituido por la convergencia de varias áreas del conocimiento, a partir de un desarrollo sin precedentes en la tecnología del análisis y manipulación de los sistemas biológicos: la Bioinformática.

La Bioinformática, de acuerdo al criterio de Febles y González (2002), es un área particular, nueva e interesante, de intersección entre las ciencias y tecnologías de la información y las ciencias de la vida. Esta disciplina se ocupa de almacenar y manipular grandes masas de información biológica. Dicho de otro modo, trata del uso de las computadoras para el análisis de la información biológica, entendida como la adquisición y consulta de datos, análisis de correlación, extracción y procesamiento de la información".

Teniendo en cuenta la esencia de la Bioinformática como disciplina de colaboración, que además de recursos y tecnologías, requiere de alta calificación en sus soluciones, resulta muy necesario el vínculo de los centros de investigación-producción que se dedican a esta rama, con las universidades, para lograr la preparación y constante superación del capital humano que ejecuta los proyectos y producciones en dicha esfera donde el recurso limitante es el conocimiento.

Aún siendo una disciplina muy joven, en el mundo existen varios ejemplos de cooperación tanto a escala regional como global en materia de Bioinformática. Entre los más conocidos se encuentran el Proyecto Genoma Humano (HGP por sus siglas en inglés), el Proyecto *Genome Inspector* y el Proyecto brasileño para la secuenciación del genoma de la *Xilella fastidiosa* y el cáncer. La colaboración en dichos proyectos se enmarca fundamentalmente en países desarrollados como EUA, Francia, Gran Bretaña, Alemania y Japón. Entre los países del tercer mundo, la cooperación es escasa. Sobresale el caso de Brasil en América Latina (Febles y González, 2002).

En la década de los años 80, Cuba comenzó la introducción y el desarrollo de las técnicas modernas de la biotecnología, justo en el momento en que este campo iniciaba su progreso en el resto del mundo. Se crearon varios centros y se integró el Polo Científico del Oeste de La Habana, que situó al país en una posición competitiva incluso con respecto a los países desarrollados.

Sin el desarrollo de la Bioinformática actualmente no es posible enfrentar proyectos que aspiren a desarrollar medicamentos y otros productos novedosos con una fuerte posición de patente y en un tiempo relativamente breve, y ello es imprescindible para poder colocar los productos nacionales en el mercado mundial. La demora de esta actualización tecnológica repercutirá en la eficiencia y la competitividad biotecnológica nacional (Valdivia y Febles, 2005).

En el país existen trabajos (González y Febles, 2002; Febles y Montero, 2005; Pons *et al.*, 2007; Febles, 2007) que analizan el estado actual de la Bioinformática en el ámbito nacional y sus perspectivas de desarrollo a corto, mediano y largo plazo, apreciándose sostenidos avances. No obstante, aún existen limitaciones que lastran los esfuerzos de integración y entre ellos, se declara a continuación que:

- No ha sido posible poner en marcha un programa doctoral de bioinformática que ya se aprobó en la Universidad de La Habana (UH), por falta de recursos organizativos.
- No existe aún una infraestructura adecuada para la dirección de sistemas regulares hacia la formación de posgrado en este campo multidisciplinario.
- La organización temática actual de la Bioinformática no responde a una política integral nacional que asigne recursos por proyectos contra resultados esperados necesarios, ni favorezca la cooperación a pesar de los esfuerzos y la voluntad existente entre los académicos y científicos involucrados.
- La toma de conciencia acerca de los resultados de esta disciplina y de su seguro impacto por parte de los sistemas relacionados en la economía y la dirección del país, tanto a nivel nacional, territorial como sectorial, es aún limitada, por lo que no hay una demanda correspondiente de resultados al sistema científico.

Es destacable afirmar que se ha alcanzado cooperación en la formación de cuadros, en el intercambio de experiencias y conocimientos, apreciándose asimismo una incipiente coordinación de resultados entre diferentes grupos de trabajo. Sin embargo, los centros científicos y los organismos nacionales encargados de aplicar la biotecnología y los centros productores de resultados básicos deben encontrar una forma de integración natural que permita potenciar las necesidades de uno y otro en función de resultados esperados concretos, innovadores y ambiciosos (Febles y Montero, 2005)

En esta dirección, el concurso de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), que cuenta con tecnologías y sobre todo con gran cantidad de capital humano en formación en las ciencias y tecnologías de la información, es un pilar importante en la colaboración universidad-sector productivo para el desarrollo de proyectos de Investigación-Desarrollo (I+D) en Bioinformática.

La UCI, desde su segundo curso académico, tiene aprobada una Política Científica que contempla el desarrollo de 18 líneas de investigación priorizadas, en consonancia con las directrices que traza hoy la ciencia cubana. Una de ellas es la Bioinformática.

Para el avance de esta línea, en la UCI existe un Grupo de Investigación que ejecuta actualmente 20 proyectos de I+D con centros del Polo Científico del Oeste de la Capital: Centro de Inmunología Molecular (CIM), Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), Centro Nacional de Genética Médica (CNGM), Centro de Neurociencias de Cuba (CNC) y Centro de Química Farmacéutica (CQF), entre otros.

El estudio que se pretende realizar penetra en las especificidades de las relaciones de colaboración UCI-CIM y UCI-CIGB, para la ejecución de proyectos de I+D en Bioinformática, por ser estos de los casos que más sobresalen en cantidad y calidad del trabajo realizado hasta el momento.

Los resultados alcanzados en la colaboración con los centros mencionados en proyectos de I+D, si bien arrojan un balance general positivo, presentan un grupo de insuficiencias que dificultan su avance, y que aunque tienen su génesis básicamente en factores particulares, también constituyen en buena medida un reflejo de las dificultades que enfrenta la cooperación en esta disciplina a nivel de país.

Constituyen evidencia de lo antes descrito la existencia de dificultades en la coordinación y comunicación entre las partes, la falta de motivación en estudiantes y

profesores que participan en los proyectos, la carencia del espacio necesario que demanda la investigación en las distintas temáticas en que se trabaja, y del consiguiente intercambio de experiencias entre los profesores, estudiantes e investigadores que se vinculan al Grupo de Bioinformática asociado a los proyectos. Todo ello contribuye a la dispersión de los esfuerzos e impide, en consecuencia, encontrar la vía idónea para lograr el nivel de integración que requiere la colaboración en este joven campo de estudios.

La problemática anteriormente descrita ha constituido la motivación para desarrollar el estudio que se expone en las páginas siguientes y que ofrece una propuesta de acciones orientada a fortalecer la integración de la UCI con el CIM y el CIGB en los proyectos de I+D en Bioinformática

Estructura aproximada del trabajo:

- **Capítulo 1. Fundamentos teóricos para el estudio de la colaboración en proyectos de I+D en Bioinformática**

En este capítulo se dedicará un primer epígrafe al estudio de la Bioinformática como disciplina emergente, haciendo énfasis en las condiciones que dieron lugar a su aparición y desarrollo, y se expondrán asimismo diversas definiciones sobre esta disciplina, incluyendo la de estos autores.

El segundo epígrafe estará dirigido a ofrecer un panorama sobre el desarrollo alcanzado actualmente por la Bioinformática a nivel internacional, en tanto que un tercero, a tenor de la importancia creciente que cobra el vínculo universidad-sector productivo en su impulso, se dedicará en un primer momento a exponer las consideraciones teóricas que lo sustentan en relación al contexto latinoamericano y luego explicará los rasgos que esta sinergia adquiere para el caso cubano.

En el cuarto epígrafe se abordan las premisas teóricas fundamentales de la teoría del actor-red pues los autores consideran que pueden ser aplicables al trabajo colaborativo en Bioinformática, dado el complejo entramado humano y tecnológico en el que se desenvuelve esta novel disciplina científica.

En el quinto epígrafe se ofrece asimismo una panorámica acerca del desarrollo de la Bioinformática en Cuba, en el que se exponen las fortalezas internas que catalizan su avance, las líneas fundamentales de investigación en las que se trabaja, así como se refieren las principales organizaciones involucradas y actividades científicas emprendidas en función de su consolidación.

Por último, en el quinto epígrafe se enuncian y fundamentan las consideraciones finales del capítulo, a partir de la extensión y variedad de su contenido y se definen las ideas fundamentales abordadas a lo largo de este.

- **Capítulo 2. Caracterización de la colaboración de la Universidad de las Ciencias Informáticas con el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología y el Centro de Inmunología Molecular en proyectos de I+D en Bioinformática**

En este capítulo se dedicará un epígrafe a describir cada uno de los centros que conforman la unidad de análisis y un cuarto epígrafe destinado a la caracterización de las relaciones de colaboración de la UCI con ambos centros científicos, como resultado de la aplicación de los métodos y técnicas mencionados anteriormente.

- **Capítulo 3. Hacia el estado deseado: integración sinérgica y organizada. Propuesta de acciones y recomendaciones**

En este último capítulo se destinará un epígrafe a fundamentar teóricamente los métodos y técnicas aplicadas, a explicar las mismas, dejando evidenciada la efectividad de estas en la recopilación de la información necesaria para la elaboración de la propuesta.

En el segundo epígrafe se describirá el análisis de los resultados que arrojen los instrumentos aplicados como paso previo para la formulación de la propuesta.

El tercero se dedicará a presentar la propuesta de acciones y recomendaciones que fortalezcan la colaboración con ambos centros en proyectos de I+D en Bioinformática.

- Conclusiones y Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos
- Glosario

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL ESTUDIO DE LA COLABORACIÓN EN PROYECTOS DE I+D EN BIOINFORMÁTICA

1.1. La Bioinformática, una disciplina emergente

A partir de la segunda mitad del siglo XX, la Biología y en particular las Ciencias Biomédicas, han estado marcadas por el desarrollo de la genética molecular y su relación creciente con las Ciencias de la Información.

Los avances biomédicos, especialmente los genómicos, generan cada día gran cantidad de datos, que deben ser almacenados y gestionados antes de ser procesados para la obtención del conocimiento biológico. Al decir del conocido investigador español Roderic Guigó (2000), “la biología está transformándose; de ser una ciencia con un elevado componente analítico en una disciplina que se enfoca sobre todo en la síntesis: la integración de la información global a diferentes niveles para producir un conocimiento importante en relación con los procesos involucrados en la vida. “

En este campo es que las herramientas de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han adquirido un papel significativo y han conducido a la creación de nuevas disciplinas que den solución a las demandas de los avances científicos.

De este modo surge, a finales de la pasada centuria, como consecuencia del desarrollo del Proyecto Genoma Humano¹, una disciplina que se ubica en la intersección entre las ciencias de la vida y las TIC: la Bioinformática (Cueto y Espino, 2001).

¹ Proyecto Genoma Humano (HGP por su sigla en inglés), iniciado formalmente en 1990, se planificó para 15 años en sus orígenes. Se completó en menos tiempo, en el 2003, gracias al rápido avance tecnológico de estos tiempos. Fue coordinado por el Departamento de Energía y los Institutos de Salud de los EE.UU. con la participación de laboratorios y centros de investigación de varios países. Se identificaron entre 20000-25000 genes del ADN humano, entre otros importantes resultados (*Human Genome Project Information*, 2005).

Las definiciones de Bioinformática son ya usualmente reconocidas en el seno de la comunidad científica internacional y pueden encontrarse en publicaciones, congresos, y conferencias de profesionales autorizados en este campo (Howard, 2000; Guigó, 2000; Fava, 2001; Harvey & McMeekin, 2002; Febles y González, 2002; González y Febles, 2002; Febles y Montero, 2005; BioBasics, 2006; Febles, 2007; Pons *et al.*, 2007). En tal sentido se aceptan, por ejemplo, las siguientes:

“Bioinformática es la aplicación del desarrollo de la computación y las matemáticas que permite la administración, análisis y comprensión de datos para resolver preguntas biológicas (con conexiones a medi-, quimio-, neuro-, etc. informática)” (Harvey & McMeekin, 2002).”

“Bioinformática es el uso de software y programas de computadoras para organizar, almacenar y analizar datos e información biológica para comprender mejor los sistemas biológicos. Es el campo de la ciencia donde la biología, la ciencia de la computación y la tecnología de la información, convergen en una disciplina única (BioBasics, 2006).²”

Resulta asimismo suficientemente esclarecedora la que ofrecen Febles y González (2002): “Esta disciplina se ocupa de almacenar y manipular grandes masas de información biológica. O sea, trata del uso de las computadoras para el análisis de la información biológica, entendida como la adquisición y consulta de datos, análisis de correlación, extracción y procesamiento de la información”.

En el contexto de esta investigación, desde una visión CTS, los autores definen la Bioinformática como una nueva área interdisciplinar en la que convergen las tecnologías de la información y las comunicaciones con las ciencias de la vida, donde los recursos computacionales y humanos asisten al análisis de cantidades enormes de datos biológicos, para extraer de ellos información valiosa y obtener

² La traducción del original en idioma inglés corresponde a los autores de este trabajo.

resultados con impactos beneficiosos en la salud humana o animal. Los límites de esta disciplina y su relación con otras, son elementos aún inciertos, incluso entre los profesionales vinculados con las ciencias antes mencionadas. Y posee una característica que la distingue y a la vez constituye un factor clave en su ejercicio: depende sustancialmente de la colaboración entre los actores que le dan vida.

En todo caso puede asegurarse que la Bioinformática acude en ayuda de la biología cuando es necesario aplicar métodos computacionales para analizar este gran volumen de información. Su rol protagónico está dado por dos razones fundamentales: la primera es que la gran cantidad de datos disponibles sólo puede ser analizada utilizando computadoras; la segunda radica en que los datos están tan alejados en la urdimbre que entretengan estas informaciones que sólo puede salir a la luz utilizando sofisticados algoritmos computacionales. Sin lugar a dudas la Bioinformática ha aportado soluciones que son alternativas de gran valor al lento, difícil y costoso trabajo experimental (Febles, 2007).

A partir del hecho indiscutible que supone el rápido avance de esta disciplina científica, pueden identificarse los estímulos principales que han impulsado su desarrollo (Cueto y Espino, 2001):

- El enorme volumen de datos generados por los distintos proyectos genoma (humano y otros organismos).
- Los nuevos enfoques experimentales basados en biochips que permiten obtener datos genéticos a gran velocidad, bien de genomas individuales (mutaciones, polimorfismos) o de enfoques celulares (expresión génica).
- El desarrollo de Internet, que permite el acceso universal a las bases de datos de información biológica.

El principal reto para la Bioinformática, según las autoras citadas, es ofrecer una respuesta a la avalancha de datos procedentes de la genómica, pues hace unos años, los resultados de los experimentos se podían interpretar sobre el cuaderno de

laboratorio, pero hoy se necesitan bases de datos y técnicas de visualización de los mismos sólo para almacenarlos y comenzar a estudiarlos.

En opinión de los autores, la Bioinformática está evolucionando desde un conjunto de técnicas, herramientas, métodos hacia una verdadera ciencia, al aportar el componente de análisis para entender la genómica e integrar sus datos para crear modelos predictivos de los sistemas biológicos. Pero hoy, continúa siendo una disciplina emergente.

1.1.1. Dominios de investigación bioinformática

Como campo nuevo, la Bioinformática se encuentra delineando aún los contornos de su alcance. Actualmente su rango de acción son las tecnologías de la información aplicadas a la investigación biológica. Básicamente se ocupa de los fenómenos biológicos que requieren del análisis de una gran cantidad de datos para obtener resultados. Existen coincidencias en varios autores (Febles y González, 2002; Fava, 2001; Febles y Montero, 2005; Febles, 2007) al subdividir la Bioinformática en tres dominios principales de investigación:

- La investigación y desarrollo de la infraestructura, sistemas de información y comunicaciones que precisa la biología moderna (redes y bases de datos para la información de genomas y proteínas, estaciones de trabajo para procesamiento de imágenes, etc.). Esto es lo que se entiende como Bioinformática en sentido estricto.
- Técnicas computacionales aplicadas al análisis de las principales preguntas biológicas mediante la modelación y la simulación (algoritmos de vida artificial, algoritmos genéticos, redes neurales, etc.). Este segundo campo se conoce como biología computacional.
- El desarrollo y utilización de sistemas computacionales basados en modelos y materiales biológicos (biochips, biosensores, computación basada en ADN). Las computadoras basadas en ADN se emplean en la secuenciación masiva y el

screening de diversas enfermedades, explotando su característica de procesamiento paralelo. Este otro se conoce por Biocomputación.

1.1.2. Métodos e instrumentos utilizados en la Bioinformática

La Bioinformática comprende los métodos básicos de una disciplina científico-técnica que aborda la adquisición, almacenamiento, proceso, distribución, análisis e interpretación de información biológica mediante las TIC. Entre los principales métodos empleados en esta disciplina se mencionan (Cueto y Espino, 2001; Febles y González, 2002):

- Métodos para la obtención de información biológica. Análisis y comparación de secuencias. Datos y estructura de proteínas.
- Métodos para almacenar y acceder a la información biológica en bases de datos.
- Métodos para distribuir la información biológica de interés en el ámbito de la biotecnología.
- Métodos para procesar la información biológica.
- Métodos para analizar e interpretar la información biológica. Modelización, predicción y técnicas de minería y visualización de datos. Aplicaciones a la gestión del conocimiento en esta área.

El desarrollo de instrumentos informáticos para mejorar la investigación biológica puede considerarse como el núcleo metodológico de la Bioinformática. A continuación se relacionan los más conocidos y utilizados según Febles y González (2002):

- Modelos computacionales y matemáticos.
- DNA array (variante de los biochips).
- Instrumentos de software.
- Paralelización computacional.
- Métodos estocásticos, inteligencia artificial, caos y otros.

En la actualidad se ha alcanzado un grado de desarrollo bioinformático gracias al cual se está produciendo un cambio en la mentalidad clásica de los experimentadores en las ciencias de la salud. Cuando se planteaba un experimento había que elegir entre realizar la biología *"in vivo"* o *"in vitro"*. Ahora existe la nueva opción que es la realización de los experimentos *"in silico"*, lo cual ha sido posible gracias al desarrollo de las plataformas computacionales necesarias para el tratamiento de la información genética.

Los autores hacen notar que estos instrumentos, algunos en pleno desarrollo, requieren en su mayoría considerables recursos tecnológicos. Pocas veces un laboratorio del Tercer Mundo (y en ocasiones algunos del primero) puede financiar la compra de una supercomputadora. Una alternativa para el paralelismo, por ejemplo, ha sido el desarrollo de clusters (grupos) de computadoras. En esta variante, algunas PC convencionales se conectan para servir como procesadores en paralelo. Ya se han conectado varios clusters a través de Internet, lo que permite resolver grandes problemas en paralelo y puede considerársele un cluster de clusters.

1.1.3. Bioinformática, interdisciplinariedad y formación de recursos humanos

El desarrollo de la Bioinformática exige un profundo carácter multidisciplinario en la investigación científica y el dominio de un lenguaje que garantice la comunicación entre especialistas provenientes de diferentes áreas del saber, pues se trata de un nuevo campo interdisciplinario que integra a científicos especializados en distintas áreas de la biología, como la molecular, la genética o la bioquímica, entre otras; junto a investigadores de otras ramas de la ciencia como la física, la matemática y la informática. De ahí que la formación de verdaderos bioinformáticos sea una cuestión de primer orden si se quiere potenciar su desarrollo.

A tenor del criterio anterior y de acuerdo con Guigó (2000): "...la mayor limitación para convertir la avalancha de datos genómicos en conocimiento relevante sobre los procesos de la vida no reside, hoy en día, en la capacidad insuficiente de los ordenadores, sino en la escasez de científicos y técnicos formados en la utilización y el desarrollo de herramientas computacionales para el análisis de esos datos

genómicos.”.

A siete años de expresada esta opinión, los autores resaltan que continúa siendo la formación de especialistas a nivel internacional, la limitación más grande de esta disciplina,

Una de las inquietudes que surgen al abordar el tema de la formación de profesionales en Bioinformática es si éstos deben ser biólogos o informáticos, lo que genera polémicas y criterios divididos. Pero al margen del área de la cual provengan, la necesidad de profesionales en Bioinformática tiene dos vertientes claramente marcadas: la de los usuarios de métodos bioinformáticos y la de profesionales especializados en el desarrollo de herramientas bioinformáticas (Bioplanet, 2001).

Estas dos áreas de formación son fundamentales en la actualidad, según la propia fuente, debido a la creciente demanda de profesionales competentes. Esta es una preocupación a nivel mundial que se ve reflejada en la formación de la *Internacional Society for Computational Biology*. Organización que recomienda acelerar la formación de bioinformáticos, no sólo para anticipar necesidades futuras, sino para hacer frente a requerimientos actuales, principalmente de la industria farmacéutica y biotecnológica.

Las necesidades de formación de recursos humanos en Bioinformática se resuelven de acuerdo a las peculiaridades de cada contexto, pero se identifican dos vías fundamentales a nivel internacional:

1. Formación regular: (que a su vez se subdivide en Formación de pregrado y Formación de postgrado)

En la Formación de pregrado se incluye la preparación de profesionales para la Bioinformática desde las carreras tradicionales (Biología, Matemáticas, Física, Informática), insertando contenidos esenciales que puedan ir dotando al estudiante de las herramientas necesarias para incursionar en dicha área. Asimismo en algunas

universidades, como un caso en Argentina (Universia, 2005), se ha introducido recientemente la Bioinformática como carrera, dándose de este modo un importante paso en busca de formar profesionales más preparados y capaces.

En la Formación de postgrado existen cursos, diplomados, maestrías y doctorados que se implementan en sus más variadas formas para reorientar la formación de los profesionales de una u otra área del conocimiento hacia la Bioinformática (Febles, 2007; Febles y Montero, 2005).

2. Formación irregular:

En esta vía, en opinión de los autores de esta investigación, se cuentan la formación acelerada, los seminarios, talleres y eventos científicos, intercambios de experiencia, y demás formas que permitan a los investigadores que trabajan en Bioinformática completar o ampliar su formación interdisciplinaria, acorde a las exigencias que impone el desarrollo de este campo actualmente en el mundo.

1.2. Desarrollo actual de la Bioinformática en el mundo

El Proyecto Genoma Humano ha catalizado una presencia sin precedentes de la investigación biológica en los medios de comunicación de todo el mundo. Este impacto mediático no es gratuito. El conocimiento de la secuencia de nucleótidos del genoma humano y de la secuencia de aminoácidos de las proteínas codificadas en ese genoma alcanzará, se estima, un impacto extraordinario en la medicina, la agricultura y en muchos procesos industriales. Tendrá, en consecuencia, repercusiones económicas, sociales y quizás, incluso, políticas (Guigó, 2000).

Los autores apuntan, que el tiempo futuro de las aseveraciones anteriores es presente constituido.

Con independencia de esta novedad mediática, la biología está sufriendo también una radical transformación en el modo de su práctica como disciplina científica, de una ciencia tradicionalmente de la observación y la descripción, se está convirtiendo

en una ciencia caracterizada por la generación de cantidades gigantescas de información.

En dicho contexto se enmarca pues, el desarrollo de la Bioinformática, que adquiere cada vez más relevancia a nivel internacional por la misión social a ella asignada como consecuencia lógica del vertiginoso desarrollo de las ciencias de la vida y las ciencias y tecnologías de la información.

1.2.1. Áreas de investigación bioinformática en el mundo

En los últimos años se han ido marcando las áreas de investigación que a nivel mundial son atendidas por la Bioinformática. Considérense fundamentalmente, según Febles y Montero (2005) las siguientes:

- Análisis de secuencias y anotación del genoma
- Biología evolutiva computacional
- Análisis de la expresión genética
- Análisis de la expresión de proteínas
- Análisis de las mutaciones en cáncer:
- Predicción de estructuras y funciones de biomoléculas:
- Preservación de la biodiversidad
- Modelación de sistemas biológicos

1.2.2. Cooperación internacional en Bioinformática. Principales proyectos, instituciones y países comprometidos.

En el ámbito del desarrollo de la Bioinformática, se desarrollan varios proyectos de cooperación tanto a escala regional como global. Algunos de los más conocidos son el *Proyecto Genoma Humano* (del inglés HGP), el *Proyecto Genome Inspector* y el *Proyecto brasileño para la secuenciación del genoma de la Xilella fastidiosa y el cáncer* (Febles y González, 2002).

La Organización del Genoma Humano (HUGO por sus siglas en inglés) es una asociación internacional de científicos involucrados en el *Proyecto Genoma Humano*. Se creó en 1989 con el fin de estimular la cooperación internacional, dada la magnitud de la tarea propuesta. Su función esencial consiste en coordinar los esfuerzos nacionales (para evitar la dispersión y duplicación inútil de estos), con el objetivo de difundir los datos, promover seminarios internacionales u otras acciones afines. La magnitud de los recursos comprometidos es descomunal y sus fuentes han sido entidades públicas y privadas de Europa, Estados Unidos, Canadá y Japón (Fava, 2001).

Los proyectos de secuenciación brasileños han coordinado los esfuerzos de más de 20 laboratorios de ese país y pueden exhibir resultados relevantes como la secuenciación completa del genoma de la *Xilella fastidiosa*, bacteria que causa una enfermedad a las plantaciones de cítricos. En la actualidad los esfuerzos se concentran en la secuenciación del genoma de células humanas cancerosas.

Los recursos en el caso del proyecto de *Xilella* fueron suministrados por el *Fondo de Apoyo a la Investigación del Estado de Sao Paulo (FAPESP)*. En el proyecto del genoma de cáncer, el *Instituto Ludwig* contribuirá con 5 millones de dólares estadounidenses. FAPESP apoyará con una cantidad equivalente. En todo el programa genoma laboran 240 profesionales de 48 instituciones docentes y de investigación.

Otra institución involucrada en la colaboración internacional en Bioinformática es la *Organización Europea de Biología Molecular (EMBO)* a la cual pertenece el EMBL de Heidelberg, uno de los más importantes laboratorios de Biología Molecular en el mundo, que coordina los esfuerzos europeos en la investigación bioinformática y biología en general (Febles y González, 2002).

Asimismo, según esta fuente, otras muchas instituciones se han establecido para sostener estos esfuerzos, la abrumadora mayoría de ellas en *países del Primer Mundo*. A continuación varios ejemplos que ilustran el planteamiento anterior:

- Estados Unidos: Los Institutos Nacionales de Salud (del inglés NIH), que dirigen el Centro Nacional de Recursos del Genoma Humano (NDHGR por su sigla en inglés) a través de los laboratorios nacionales de Lawrence Livermore, Lawrence Berkely y Los Álamos; Centro para la Investigación Genómica, formado por el Instituto de Tecnologías de Massachussets (MIT) y el Instituto Whitehead; El Instituto de Tecnologías de California.
- Francia: En este país la construcción de mapas genéticos de alta resolución se debió a una institución privada, el Centro de Estudios del Polimorfismo Humano (CEPH), financiada por una asociación dedicada a la lucha contra las enfermedades genéticas, la Asociación Francesa contra las Miopatías (AFM). En los últimos años, el Estado se ha convertido en una fuente esencial de recursos financieros para la investigación en Biología Molecular y Bioinformática.
- Japón: La investigación también ha estado financiada tanto por el Estado como por las instituciones privadas. Una de estas últimas (El Instituto Kazusa) terminó la secuenciación completa del genoma de varias bacterias y tiene en planes introducirse en el estudio del genoma de plantas. Los ministerio de industria y salud fundaron sendas empresas estatales (Helyx y Pharma-Genocyte) que colaboran con las empresas privadas para transformar la información genética en aplicaciones comerciales.

Como resulta evidente, la cantidad de recursos destinadas a la investigación aplicada a las ciencias biológicas por instituciones y programas de cooperación internacionales se han centrado en los países desarrollados, por lo que la Bioinformática en los países subdesarrollados carece del suficiente respaldo financiero para su desarrollo, hecho que dificulta (junto a otras causas) el avance de esta novel disciplina científica en el área.

En América Latina, sin embargo, pueden mencionarse esfuerzos en este sentido realizados por instituciones públicas y fondos para la investigación como el FAPESP brasileño. En materia de cooperación internacional tampoco abundan los ejemplos aunque puede citarse el ya mencionado apoyo del Instituto Ludwig al Proyecto del Genoma de Cáncer en Brasil.

1.2.3. Fortalezas y ventajas de la cooperación internacional en proyectos de I+D en Bioinformática

Una de las fortalezas fundamentales derivadas de la cooperación en Bioinformática lo constituye el desarrollo y consolidación de redes científicas intencionales de colaboración centradas en la investigación en genómica estructural y funcional, la proteómica y otras aplicaciones. Otro propósito alcanzado por la cooperación internacional en este campo ha sido el desarrollo de bases de datos directas e indirectas de secuencias genómicas y secuencias y estructuras terciarias de proteínas, como resultado de las grandes cantidades de datos proporcionadas por la investigación en estas áreas. Igualmente una cantidad tan considerable de investigación básica y aplicada ha favorecido sensiblemente la formación/reconversión de profesionales en Bioinformática (Bioplanet, 2001; Howard, 2000).

De igual modo, la cooperación en Bioinformática ofrece ventajas que posibilitarían la obtención de resultados sensibles a corto plazo. Estas ventajas potenciales se apoyan en las siguientes razones (Febles y González, 2002):

- La necesidad de desarrollo de capacidades de computación paralela. Una red internacional de clusters de computadoras enfrentaría con mayor eficacia los desafíos de la Bioinformática que redes de clusters de instituciones dispersas. Conectar los esfuerzos de diferentes países es esencial para el desarrollo bioinformático en el área.

La formación de co-laboratorios y redes temáticas, multiplicaría la capacidad de almacenamiento, procesamiento y transmisión de datos, y permitiría a los investigadores enfrentar problemas más complejos a partir del acceso remoto a computadoras y el trabajo a distancia con bases de datos.

Una muestra incuestionable de lo arriba descrito lo fue la materialización de la secuenciación del genoma humano, primera gran meta en la era de la Bioinformática y que fue posible a partir del trabajo colaborativo de instituciones, corporaciones, laboratorios (estatales y privados) y cientos de profesionales e investigadores (esencialmente de países desarrollados). Pero este es solo el comienzo de un largo trayecto que requerirá naturalmente de la consolidación de la cooperación internacional en este campo.

- El establecimiento de un programa doctoral de carácter internacional puede arrojar igualmente resultados muy positivos al servir de apoyo tanto a los que tienen estos programas establecidos por separado como a los que se inician por ese camino.

Este programa contribuiría a incrementar el nivel de investigación en aquellos países que no poseen una estrategia de desarrollo en esta disciplina. De igual manera se podrían organizar talleres y cursos de postgrado con la participación de un colectivo internacional de profesores.

Programas de este tipo pueden contribuir notablemente al incremento de la cooperación (tanto regional como global) pues las tesis doctorales podrían orientarse a temas vinculados a proyectos conjuntos.

- La elaboración y validación de herramientas para la Bioinformática de manera cooperada constituye otra dirección para el trabajo conjunto que debe producir una sinergia importante para el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

-
- En el caso de los países de América Latina, el desarrollo regional de la Bioinformática tiene la ventaja adicional que brinda la semejanza de las metas a alcanzar. Ejemplo de ello lo constituye la agricultura regional, pues debido a la proximidad geográfica y similitud cultural, muchos productos agrícolas son comunes a la mayoría o totalidad de estos, por lo que un desarrollo común de la investigación biológica centrada en estos temas puede resultar de mucho interés para varios de las naciones del área. Tal es el caso de la caña de azúcar, el maíz, la papa, entre otros.

Otro elemento de importancia que avala las potencialidades de la cooperación regional es el desarrollo de productos farmacéuticos y en general biomédicos. Dado que muchos países del área, enfrentan enfermedades y problemas de salud comunes, un esfuerzo mancomunado de la investigación bioinformática en esta línea podría ser de beneficio común.

Luego de lo enunciado en los epígrafes anteriores, resulta incuestionable que la Bioinformática precisa de la colaboración para su avance, pues la naturaleza interdisciplinaria y demás particularidades de esta nueva disciplina científica, así lo demandan. Es necesario entonces, abordar los elementos teóricos concernientes al vínculo universidad-sector productivo, por constituir éste una vía idónea para materializar esfuerzos en esta dirección.

1.3. Consideraciones teóricas acerca del vínculo universidad-sector productivo.

La llamada “Era del conocimiento”, fruto y sostén del mundo globalizado, con sus impetuosas transformaciones tecnológicas y organizacionales, instantáneo y enlazado por redes, gracias a las infotelecomunicaciones, exige una alta preparación profesional, una instrucción continua y el desarrollo de nuevas formas de vinculación entre las universidades, instituciones de investigación-producción y el tejido empresarial a escala nacional e internacional (Castro Díaz-Balart, 2003).

Dirigidos esencialmente a incentivar y promover la innovación y facilitar la transferencia de tecnología desde los centros de altos estudios a sectores económicos empresariales, existen los denominados Parques Científicos y Tecnológicos, también conocidos como *Research, Science, Technology Parks* o *Technopole*, uno de cuyos elementos distintivos lo constituye el vínculo universidad-sector productivo (Ondátegui, 2001; Castro Díaz-Balart, 2003).

La idea de vincular al sector académico y al productivo en forma mutuamente beneficiosa, en un Parque Científico, surge a mediados de la década del 50 en Estados Unidos y pretendía objetivos como el de sacar provecho de la capacidad científica de la universidades como variable importante en la concepción de actividades económicas novedosas, conquistar ingresos adicionales por parte de las universidades y atraer centros de Investigación y Desarrollo (I+D) de grandes empresas (Castro Díaz-Balart, 2003).

Parques surgidos a la sazón, como el de *Silicon Valley*, en California, la *Route 128* en Massachussets, el *Research Triangle Park*, en Carolina del Norte, y el *University City Science Park* de Filadelfia constituyen referencia obligada para otros esfuerzos que en este sentido se realizan actualmente (Ondátegui, 2001).

Las universidades del siglo XXI operan en un entorno abierto, donde está creciendo la competición en los ámbitos de la creación, adquisición y transferencias de conocimientos a través del desarrollo de actividades de formación, de investigación y el establecimiento de sinergias competitivas con empresas de base tecnológica (Sheifler, 1994 citado por Castro-Díaz-Balart, 2003).

En la actualidad existen experiencias exitosas en varias regiones del mundo, fundamentalmente en Europa, Estados Unidos y Asia. En la región asiática sobresalen el Corredor y Parque Tecnológico de Singapur, el Parque Científico de

Alta Tecnología de Zhongguancun en China y el Súper Corredor Multimedia y Universidad Multimedia de Malasia.

1.3.1. Vínculo universidad-sector productivo en el contexto latinoamericano actual. Sus perspectivas

La generalización de la enseñanza avanzada, de calidad y permanentemente renovable durante toda la vida, como proyecto de largo alcance, es una de las claves del desarrollo humano autosustentable.

“Este desarrollo en América Latina requiere de la amplificación de sus universidades; éstas generan y transmiten conocimientos necesarios para preparar a los profesionales social y académicamente responsables y aptos para enfrentar las nuevas y complejas relaciones entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el desarrollo” (Arocena y Sutz, 2001b).

Se ha entrado en la era de la economía global, basada en el conocimiento y catalizada por la innovación, que conjuga un formidable caudal productivo con un enorme potencial destructivo y con la inestabilidad aumentada. En ese marco, América Latina pugna por construirse un nuevo lugar en el mundo, y está viviendo un momento trascendental y cambiante, en lo político, cultural y económico, en la integración de sus pueblos y muchos de sus gobiernos.

En semejante panorama, una condicionante fundamental del futuro del continente será la evolución que vivan sus universidades públicas. Estas no sólo son las principales transmisoras del conocimiento avanzado sino también sus grandes creadoras. Además, la Universidad Latinoamericana constituye una institución original, fruto de una construcción histórica específica, cuya tradición la vincula tanto a la crítica del conocimiento -de sus contenidos y de sus usos- como a la búsqueda de caminos propios para el desarrollo latinoamericano. Quizás nunca en la historia se ha necesitado con tanta urgencia como hoy, capacidades para generar, transmitir

y utilizar masivamente conocimientos del más alto nivel en formas críticas y originales.

Al decir de Arocena y Sutz en su libro “La Universidad Latinoamericana del Futuro. Tendencias – Escenarios - Alternativas” (2001b), razón no menor para creer esto es justamente el propio proceso de globalización, frente al cual la debilidad en materia de creación, transmisión y utilización de conocimiento equivale a una condena a seguir pautas ajenas. Mientras más adaptadas sean éstas a realidades particulares, más ineficiente puede resultar seguirlas en América Latina; sin las universidades propias actuando como generadoras activas de conocimiento, “demasiados problemas específicos de la región quedarán en el limbo de las preguntas por nadie formuladas”.

Refieren los mencionados autores que se vive una época que conduce naturalmente a reconsiderar la misión -o mejor quizás, las misiones- de la Universidad. La enseñanza avanzada, su calidad y su difusión, inciden cada vez más en la riqueza y la pobreza de las personas y las naciones, en la desigualdad entre individuos, grupos y regiones. Todo ello multiplica las tensiones que soportan las universidades, escenarios por excelencia de conjugación de la investigación y la educación.

En los términos esbozados, el punto de partida, y también el punto de llegada, será lo que el desarrollo humano autosustentable de América Latina requiere de sus universidades. Estas deben, en relación a dicho objetivo:

- a) Generar conocimiento pertinente y de la más alta calidad, lo que supone una amplia y diversificada capacidad de investigación;
- b) Transmitir el conocimiento e impulsar su uso, mediante la extensión universitaria y el vínculo o *relacionamiento*, pensado con cabeza propia, tanto con el sector productivo como con otros sectores sociales;

-
- c) Formar profesionales creativos, social y ambientalmente responsables, dotados de una sólida capacitación interdisciplinaria respecto a las complejas relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Desarrollo, y con una amplia perspectiva cultural.

En América Latina: "el conocimiento acumulado, institucionalizado y multidisciplinario que se requiere para la búsqueda de soluciones a problemas complejos de la producción y el uso de tecnologías, es patrimonio fundamental, por lo menos en la región, de la universidad, por lo que la interacción o vinculación entre la universidad y la empresa es de carácter no sólo deseable sino inevitable" (SELA, 1997).

Se afirma que "pocas universidades latinoamericanas están de hecho capacitadas para emprender un *relacionamiento* adecuado con el sector productivo. Las culturas organizacionales son distintas, los tiempos y prioridades son diferentes, y muchos de los intentos de aproximación acaban con recriminaciones recíprocas, las universidades siendo acusadas de lentas, ineficientes y poco prácticas, y las industrias de inmediatistas y sin disposición para las inversiones y la espera inevitable en los trabajos de investigación más significativos" (Schwartzman, 1996).

En realidad, estos comentarios tienen un área de validez que desborda a la región y alcanza incluso a los países más avanzados. Para América Latina el panorama es más complicado que en estos últimos, pues sus sectores productivos, como ya se subrayó, no son, hablando en términos promediales, grandes demandantes de conocimiento avanzado y sofisticado ni, mucho menos, de conocimiento nuevo creado especialmente para resolver problemas específicos. No se trata de que estos problemas no existan, ni de que puedan ser siempre resueltos acudiendo al acervo de conocimientos libremente disponible a escala mundial. Como bien se sabe, la tecnología necesaria para resolver problemas importantes no suele tener ese carácter. Pero la dinámica económica latinoamericana reciente no ha alterado demasiado su tradicionalmente escasa relación con la incorporación de conocimientos generados endógenamente. Aunque se han registrado avances en la

materia, también se constatan cambios de signo contrario, ligados por ejemplo a la privatización de grandes empresas públicas, proceso en el cual disminuyen considerablemente su papel como demandantes y/o generadoras de tecnología nacional.

El panorama latinoamericano pone de relieve lo que cabe denominar la "soledad del actor universitario" en este continente: la escasa demanda empresarial por conocimientos endógenamente generados y la atención más bien baja que al tema prestan los gobiernos, hacen difícil que las universidades encuentren socios de envergadura en sus propósitos de vincular investigación y aplicación.

No obstante, según los uruguayos estudiosos del tema, Arocena y Sutz (2001b), existen al menos cuatro tipos de factores, interdependientes pero distinguibles que impulsan hacia un mayor *relacionamiento* de las universidades latinoamericanas con el sector productivo: (i) la búsqueda de nuevas fuentes de financiamiento, (ii) la concepción de ese *relacionamiento* como una palanca para el crecimiento económico, (iii) la afirmación de que tales vinculaciones pueden constituir un estímulo para la investigación universitaria, para su pertinencia y aún para su relevancia; (iv) la influencia de lo que ocurre en los países centrales.

Dichos autores explican que gran parte de las tensiones evocadas puede resumirse aludiendo a dos concepciones disímiles del llamado "tercer rol" de la Universidad. Esta expresión ha surgido durante los últimos años, en los países del "centro" (primer mundo), para denotar lo que constituiría una nueva misión universitaria, junto a la enseñanza y la investigación, la de colaborar directamente con el empresariado con vistas al crecimiento económico. Por otro lado, en la tradición latinoamericana, la tercera misión es la extensión universitaria como *relacionamiento* con los sectores populares para la difusión de la cultura y el mejoramiento de la sociedad.

Si bien es vital el vínculo de las universidades con el sector productivo, como se ha explicado hasta aquí, los autores del presente trabajo concuerdan con la posición

antes fundamentada de Arocena y Sutz (2001b) sobre la extensión universitaria. Más adelante se abundará sobre el tema al abordar el caso cubano.

Según Arocena y Sutz (2001a), en la transformación del saber y de la actividad académica los principales factores que inciden, incluyendo los que la Educación Superior latinoamericana pone al tope de sus preocupaciones, son los siguientes: el financiamiento, la evaluación institucional y las vinculaciones con el sector productivo. Este último es recomendado, con énfasis variable, como herramienta para colaborar con el progreso económico, para vincular al estudiantado con la realidad ubicada fuera de las aulas y para obtener financiación adicional. Por otro lado, en el *relacionamiento* con el sector productivo, gravita muy negativamente la “soledad del actor universitario”, característica típicamente latinoamericana, como se explicó anteriormente.

Estos autores explican que “desde una perspectiva CTS, dos aspectos asociados a estos temas resaltan en particular, uno concreto y el otro más difuso: la tendencia creciente a la privatización del conocimiento académico y el sesgo hacia una legitimación de la investigación universitaria basada en su atractivo para compradores externos”.

En América Latina, donde es muy bajo el nivel general de patentes, la relación con el mercado es mucho más directa y ello afecta de manera igualmente directa la definición de la agenda de investigación. Si cada vez es más cierto que se puede investigar en aquellas direcciones para las cuales se consiguen recursos específicos, ello tiene como consecuencia el crecimiento notable de las actividades de consultoría. Estas, a su vez, reflejan el estado de desarrollo científico y tecnológico de los países en que se realizan, utilizadas en primera instancia para remarcar el carácter de respuesta a una demanda concreta, su connotación habitual, de trabajo efectuado sobre conocimiento básicamente ya existente (Arocena y Sutz, 2001a).

A su vez, la agenda de investigación de la universidad, que depende en gran medida de las decisiones "micro" y descentralizadas que toman los investigadores, se ve forzada: a éstos se les hace cada vez más difícil afrontar el "lujo" de plantearse investigaciones de plazo largo, exploratorias, en suma, aquellas que sólo pueden esperar recursos del presupuesto ordinario destinado a investigación. Es ardua la tarea de encontrar caminos cuyo tránsito acerque la investigación de calidad con la utilidad social.

Es importante subrayar que lo anteriormente dicho no es privativo de América Latina. Tendencias al constreñimiento de la agenda de investigación, al carácter crecientemente desequilibrado de los sistemas de evaluación, a la mercantilización igualmente creciente de la investigación académica, se encuentran en todas partes. Pero la cuestión es que, en América Latina, las diversas facetas del entorno en que todo esto ocurre hacen que las dificultades para mantener un sistema mínimamente eficiente de producción de conocimientos que conjugue excelencia y relevancia sean particularmente fuertes (Arocena y Sutz, 2001a).

La "revolución académica" del siglo XIX incorporó la función de investigación a la de enseñanza, pero aspirando no a una simple relación sino a la integración de ambas, donde cada una nutre a la otra y las dos son imprescindibles para ofrecer una formación integral a los estudiantes.

La "idea de universidad" edificada a lo largo del siglo XX en América Latina quiere a la institución comprometida con el desarrollo entendido como capacidad de incrementar sostenidamente la calidad de vida de las mayorías y no como sinónimo de crecimiento económico. Para ello resulta necesario revalorizar la conceptualización de la investigación como aporte integral a la cultura, defender la necesidad de incorporar muy variados puntos de vista, demandas y expectativas en la definición de la agenda de investigación. Muy en particular, resulta imprescindible formar profesionales con conciencia de la responsabilidad social que tienen por poseer conocimientos especializados y haber sido acreditados para aplicarlos; ello

requiere impartir conocimientos, en todas las carreras universitarias, que le permitan al estudiante comprender el carácter social de las prácticas tanto profesionales como de investigación (Arocena y Sutz, 2001a).

1.3.2. El caso cubano

La universidad cubana actual tiene puntos de comunión con la universidad latinoamericana del presente siglo, caracterizada por los autores antes referenciados (Arocena y Sutz, 2001a; 2001b). En tal sentido pudiera mencionarse que en Cuba la enseñanza superior también tiene entre sus grandes objetivos la docencia o formación, la investigación y la extensión universitaria.

Sin embargo, las propias características del proyecto social cubano y el desarrollo científico y tecnológico alcanzado en todos los órdenes, durante los últimos 49 años, han propiciado que la universidad cubana de estos tiempos sea reflejo y, a su vez, protagonista de dicha realidad, y su alcance y proyecciones sean mucho mayores que los objetivos ya señalados. Dígase que la “política del conocimiento” implementada por más de cuatro décadas, con génesis en la campaña de alfabetización (Núñez-Jover *et al.* 2007) ha permitido, en la medida de lo posible, hacer accesible para todos el conocimiento y uso de las nuevas tecnologías.

En el período comprendido entre los años 1990 y 2002, según García-Cueva (2006), la universidad cubana ha constituido centro de investigaciones con una gran componente científica, tecnológica y productiva que ha devenido en nuevo paradigma: la nueva universidad, donde continúan primando la docencia e investigación en una universidad de masas, diversificada, con una nueva universalización y cuya divisa es “vivir de producciones intelectuales”.

En Cuba la “nueva universidad”, concepto necesitado de mayores precisiones, alude a la etapa actual de la universalización de la educación superior cubana, expresada, entre otras cosas, en la creación de Sedes Universitarias Municipales (SUM), la localización de espacios de formación superior en los más diversos escenarios

(hospitales, bateyes, prisiones) y la posibilidad del acceso pleno a los estudios universitarios de todos los jóvenes, con notables implicaciones para los propósitos de justicia y equidad social que caracterizan este proyecto social.

Los autores coinciden con Núñez-Jover *et al.* (2007) respecto a que el concepto de “nueva universidad” debe considerarse una idea en proceso de construcción porque forma parte de las transformaciones revolucionarias en curso, sistemáticamente incorpora nuevas dimensiones y es aún prematuro concederle el carácter de paradigma constituido.

En el modelo actual, la universidad cubana se caracteriza por ser (García-Cueva *et al.*, 2006):

- ☐ Moderna, humanista y universalizada
- ☐ Científica, tecnológica y productiva
- ☐ Altamente pertinente e integrada a la sociedad y de alto impacto económico, social, ambiental, científico, tecnológico y cultural
- ☐ Profundamente comprometida con el Proyecto Social de la Revolución

En Cuba, se ha experimentado un vertiginoso desarrollo del vínculo universidad – empresa (aunque en el contexto cubano este es el término generalizado, los autores de esta investigación son partidarios de hablar del vínculo “universidad-sector productivo”, por considerarlo más abarcador) desde la década de los 80 del pasado siglo debido a: la revolución productiva basada en la ciencia, donde el valor agregado está en el conocimiento, y a la revolución en la estructura económica internacional orientada a una mayor competitividad (Gómez, 2004).

Desde los primeros años de la Revolución el país ha dado una serie de pasos en cuanto a la innovación tecnológica y a la vinculación de la investigación con la práctica, que son elementos de indiscutible valor y que constituyen formas específicas que en la sociedad cubana han contribuido al desarrollo tecnológico. La

organización del Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica (SCeIT), los Polos Científico-Productivos, el movimiento del Forum de Ciencia y Técnica, así como el trabajo de la ANIR (Asociación Nacional de Innovadores y Racionalizadores) y las BTJ (Brigadas Técnicas Juveniles) son elementos, cuyo aporte a la integración de la ciencia y la producción y a la estimulación de la actividad innovativa es incuestionable.

En los años 90 se dieron pasos encaminados a una organización y planeamiento más ágiles y flexibles de la actividad científica, introduciéndose el concepto de Programa a ciclo completo, desde la investigación científica, hasta la utilización de sus resultados. Además, el resultado científico pasó a ser el objetivo principal de planeamiento y evaluación de cada programa (Codorníu, 1999).

Ello vino acompañado de un importante esfuerzo inversionista del país en instituciones científicas, especialmente en el área de la Biotecnología y la Industria Médico-Farmacéutica, creándose un conjunto de centros de excelencia que han sido protagonistas principales del salto cualitativo experimentado por la ciencia cubana en ese período.

Junto al proceso gradual de recuperación de la economía del país que ha tenido lugar a partir de 1994, también la actividad científico-tecnológica ha venido experimentando un proceso de recuperación en los últimos años. Un paso importante en este sentido fue la creación a fines de ese año del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), lo cual representó un cambio cualitativo en la atención a la ciencia y la tecnología. Una de las tareas fundamentales del CITMA desde su creación ha sido la introducción en el país de nuevas formas de organización de las actividades científico tecnológicas, que por un lado potencien aún más el proceso de generación de conocimientos científicos en determinadas áreas y que por otro eleven a planos superiores el proceso de innovación tecnológica para garantizar la rápida y eficaz conversión de conocimientos - tanto los generados en el país como en cualquier parte del mundo - en nuevos productos, procesos y

otros elementos que contribuyan directamente al desarrollo económico y social (Codorniú, 1999).

Por otra parte, la nueva realidad económica del país y su inserción cada vez mayor en un mundo globalizado exigen revisar detalladamente cuáles son aquellas áreas de máxima prioridad en la investigación científica y cuál debe ser la política de asimilación y transferencia de tecnologías.

Las universidades y otros centros de educación superior son elementos esenciales dentro de la actividad científico-técnica, no sólo por la formación y recalificación de profesionales para el sistema, sino también por su alta participación en las actividades de investigación científica e innovación tecnológica que tienen las mismas.

Las empresas de producción de bienes y servicios juegan cada día un papel mayor en el SCeIT, pues es en ellas donde se concreta la innovación. Deben destacarse como parte integrante del Sistema, aquellas que han incorporado la innovación a su estrategia de desarrollo y a su actividad cotidiana, y que se distinguen, por tanto, como empresas innovadoras. La tendencia debe ser que paulatinamente todas las empresas y entidades de producción de bienes y servicios sean innovadoras (Codorniú, 1999).

En este orden, el carácter sistémico de la actividad científica y tecnológica nacional ha permitido la integración de universidades con empresas, centros de investigación y otras organizaciones. Existen casos como el de la Universidad de Oriente (Gómez-Luna, 2006) con varios centros del Polo Científico Productivo de Santiago de Cuba y el de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas cuyo vínculo a través del Polo Científico Productivo de Villa Clara, se extiende a muchos centros de la región central del país. Asimismo, puede destacarse la integración de la Universidad de La Habana con diversas instituciones del Polo Científico del oeste de la capital. Y uno más reciente es el caso de la UCI cuya relación con el sector productivo se

materializa ya en decenas de proyectos de I+D con empresas como SOFTEL, SYS COPEXTEL, PROCYON Soluciones, y con centros de investigación capitalinos como CQF, CIM, CIGB, CNGM y CNC.

Con ello se ha participado de manera singular en lo que Etzkowitz y Leydesdorff (1997, citados por Núñez *et al.*, 2007a: 171) han denominado como “segunda revolución académica”, caracterizada por una mayor intervención de la universidad en los procesos económicos y sociales.

En una visión prospectiva para el país, en todas las tecnologías avanzadas y de punta, la principal fortaleza de Cuba radica en la calidad y la cantidad de los recursos humanos necesarios para desarrollarlas y/o aplicarlas (García-Cueva, 2002).

Por otra parte, llama la atención que el país ha proyectado consecuentemente el progreso científico y tecnológico, considerándolo una premisa y no una consecuencia de desarrollo, y cuenta con un buen potencial en las direcciones principales. En estos perfiles tan determinantes para el desarrollo de un país, en los cuales la brecha entre los países ricos y pobres se hace cada vez más grande, Cuba tiene fortaleza humana y tecnológica para aprovechar las oportunidades que brinda el progreso científico y tecnológico mundial, en función del desarrollo del país y la elevación de la calidad de vida de su pueblo. A tales efectos, considerando las limitaciones económicas del país, resulta imprescindible diferenciar (García-Cueva, 2002):

1. Las áreas de excelencia en que es posible mantener o alcanzar competitividad internacional a partir de productos y tecnología novedosa, mediante la investigación estratégica y el desarrollo tecnológico a ciclo completo con patentes propias. Por ejemplo, el desarrollo de la industria biofarmacéutica, la ingeniería biomédica y la ingeniería informática.
2. Las áreas clave más tradicionales donde son necesarios cambios tecnológicos importantes para alcanzar competitividad de los productos, incremento de la

producción, sostenibilidad ambiental, etc. Fundamentalmente mediante procesos de transferencia y asimilación tecnológica. Por ejemplo, la industria de generación de electricidad, de las comunicaciones, la automática y la electrónica.

3. Áreas científicas y tecnológicas en las que es necesario alcanzar o mantener un determinado nivel que facilite el avance de las áreas y garantice la continuidad del desarrollo económico del país. Por ejemplo, la Nanotecnología, la Bioinformática, o los nuevos materiales.

“En toda esta estrategia de desarrollo científico y tecnológico, las universidades desempeñarán un papel fundamental, estableciendo compromisos y trabajando como un gran centro de investigación en integración estratégica con otros centros de investigación de excelencia y el sector empresarial de base tecnológica avanzada (García-Cueva, 2002). “

En opinión de los autores de este trabajo, es fundamental que el vínculo de las universidades cubanas con el sector productivo en general, continúe afianzándose y ganando en el desarrollo y aplicación de nuevas formas de integración. Una nueva vía para lograrlo pudiera ser la utilización del potencial académico y científico que representan las SUM en todo el país. El alcance de la universalización de la educación a través de las SUM pudiera entonces materializarse en cada territorio donde la universidad está, hoy, más cerca que nunca antes, de los grandes centros productores, de empresas innovadoras y emprendedoras, estaciones experimentales, centros de investigación y otras entidades de la producción de bienes y servicios, cuya relación con la educación superior es imprescindible para la formación y superación constante de sus recursos humanos.

1.4. Redes y actores: Una aproximación conceptual

Desde los años 80 un grupo de sociólogos de ciencias y técnicas han empleado el término red desde diferentes enfoques (Callon, 1986; 1988; Law, 1984 citado por Latour, 1991). Una de las acepciones más difundidas de la noción red se ha evocado

como actor-red. Los promotores del término han señalado que un objeto científico-técnico es el resultado de la mezcla de entidades humanas y naturales pero que actúa socialmente con las características de un actor situado entre dinámicas sociales y leyes naturales, gracias a las posibilidades instrumentadas de ambas.

La noción de *red* intenta la aprehensión de la estabilización, nunca definitiva y siempre en trabajo, de las relaciones entre humanos y objetos. La red es el resultado más o menos solidificado de procesos de traducción y de su inscripción en “cajas negras”; “la palabra indica que los recursos están todos concentrados en algunos lugares – los nudos – pero que estos nudos están ligados unos con otros por mallas; gracias a estas conexiones, algunos recursos dispersos se vuelven una red que parece extenderse por todas partes (Arellano, 1989)”. Son *las redes sociotécnicas* – asociando justamente recursos acomodados habitualmente bajo las etiquetas “sociales”, “económicas”, “científicas” o “técnicas” – las que han movilizad o particularmente su atención (Callon, 1988).

Latour (1991) considera que se ha abusado de la noción de red y esto ha provocado algunos malentendidos. El primero, es considerar a la red únicamente como una red-técnica, como una red hidrológica, ferroviaria, telefónica, o informática. En efecto, existen algunas tecnologías que tienen el carácter de red, porque involucran a elementos distantes que pueden ponerse en circulación de acuerdo a ciertos puntos estratégicos, pero una red-técnica es solamente un final posible y un estado estabilizado de un sistema de elementos que no puede considerarse como una metáfora básica del actor-red, porque este puede carecer de todas las evidencias de un dispositivo social-técnico.

El segundo malentendido, es la utilización de la noción de red, como una relación de actores humanos individuales limitándose a su frecuencia, distribución, homogeneidad y proximidad, utilizando conceptos globales como instituciones,

organizaciones, estados y naciones adicionándole al término red, una posición relativista y reducida de asociación.

Respecto a la noción de actor conducida por la teoría del actor-red, ha sido tratada erróneamente, pues según Latour, se ha utilizado en su sentido literal. Por ejemplo en la tradición anglosajona un actor es un humano individual e intencional y es referido a un comportamiento. Si unimos este significado con la noción de red, el malentendido es mayor, el actor-red es entendido como: Un humano individual (masculino) quien desea mostrar y extender su poder en una red de aliados haciendo redes de trabajo o enlazando actores (Latour, 1991).

El tercer malentendido es considerar a la red como un sinónimo de información, que es sinónimo de rapidez, de contacto inmediato sin intermediarios, de manera que la noción pierde la capacidad de designar el trabajo de los intermediarios, que es el punto que le interesa a la sociología latouriana.

El término red es valioso empleado en sentido metodológico (Arellano, 1998). En ese sentido, Latour muestra que las ventajas de la utilización de la noción de red están dadas por sus tres propiedades metodológicas:

1. Lejos/Cerca. La utilización de la noción de red, permite liberarse de la tiranía de la distancia o proximidad. Hay elementos cercanos, si son desconectados pueden resultar infinitamente remotos, y al contrario, hay elementos que pueden aparecer a una gran distancia pero que pueden ser atraídos. La dificultad que existe en definir todas las asociaciones en términos de redes, es debido a la prevalencia de la Geografía, por ello en lugar de pensar en términos de proximidad o de distancia, habría que referirse a la conectabilidad de los elementos.
2. Pequeña/Larga escala. La noción de red permite disolver la distinción de micro-macro con la que ha sido plagada la teoría social. Una red nunca es más grande que otra, es simplemente más larga o más intensamente conectada. Así la noción

de red permite recobrar algunos márgenes de maniobra entre los ingredientes de la sociedad (espacio vertical, jerarquía estratos, macro-escala) sin tener que elegir entre un punto de vista local y global, sino más bien en una alta conexión.

3. Dentro/Fuera: La noción de red nos permite desaparecer a una tercera dimensión. Una superficie tiene dentro y fuera separada por un límite. Una red está limitada sin dentro y fuera, la única cuestión es que permite o no el establecimiento de una conexión estable entre dos elementos. La superficie en/entre redes es conectada -pero cuando la red está expandida- o no existe literalmente una red no tiene fuera. No es un antecedente sobre la base, no es una abertura sobre el suelo sólido, una red es una Noción positiva la cual no debe ser entendida negativamente, ella no tiene una sombra (Latour, 1999).

La teoría de la red de actores (Latour & Woolgar, 1986; Latour, 1999) muestra como la producción tecnocientífica esconde procesos de reducción de complejidad y de relaciones de poder que dificultan una reapropiación abierta de los productos tecnocientíficos por parte de la sociedad.

De acuerdo a esta teoría las comunidades tecnocognitivas están compuestas por seres humanos, aparatos, instituciones, redes electrónicas, publicaciones y un largo etcétera de mecanismos y agentes de tal modo que los seres humanos no pueden entenderse aisladamente como productores de conocimiento sino sólo insertos en una compleja red de referencias, artefactos e instituciones. Incluso el producto tecnocientífico de estas redes se reintroduce en la propia red convirtiéndose en un actor más.

Sin embargo para que la red sea productiva se requiere una reducción de la complejidad. En un proceso (que los autores antes mencionados denominan de *translación*) sub-redes del proceso son representadas por *actantes* que se convierten en cajas negras (*black-box*) para los otros componentes de la red. Estos actantes comprimen la complejidad de los procesos de la subred que los genera para poder ser re-introducidos con efectividad en los procesos de una red más amplia. De esta

manera los black-box o actantes se convierten en entidades unificadas que son utilizadas por otros actores de la red o se convierten ellos mismos en actores.

Estas cajas negras no sólo esconden la complejidad producida sino el entramado de relaciones de poder y los discursos de la subred productora. Las cajas negras pueden tener la forma de herramientas (artefactos materiales), organizaciones (cuando están representadas por un ser humano) o conceptos clave (cuando son el resultado de un proceso cognitivo).

La noción actor-red permitió a muchos investigadores obtener una libertad de maniobra frente a la absurda separación entre los datos técnicos y los sociales. Con la noción de actor-red se dio una libertad a los investigadores de ciencias y técnicas igual de la que disfrutaban científicos e ingenieros. He aquí el aporte, pero esto es aporte de método (Arellano, 1998).

En consonancia con lo antes expuesto y atendiendo a la necesidades y exigencias de esta investigación, los autores han definido como **red**, a los efectos de este trabajo, al entramado compuesto, tanto por seres humanos, como artefactos, instituciones, organizaciones, redes telemáticas, publicaciones, conceptos claves y una larga relación de componentes y agentes diversos con intereses comunes y que no necesitan estar física o geográficamente próximos para interrelacionarse sino solo ser conectados o conectables en función de un propósito común. Asimismo el término *red* presupone la circulación de información y conocimientos necesarios para materializar tal propósito, cualquiera sea la naturaleza o el carácter de estos.

Vinculado al concepto *red* está el de *actor* que en el marco de esta investigación se define como aquel componente de la red que (humano o no) juega un papel significativo en su funcionalidad y por ende en la consecución de su propósito final.

En opinión de los autores de esta investigación, las cuestiones recién abordadas en relación a la teoría del actor-red y los criterios de Latour, Callon y demás autores, tienen particular importancia por el valor metodológico que poseen para el estudio

social de la Bioinformática, dado el carácter interdisciplinario y por ende colaborativo que (ya se ha subrayado) posee esta novel especialidad.

Especialmente valiosos resultan estos conceptos para analizar la experiencia cubana en este sentido, pues esta se ha desarrollado mediante una amplia red formada por instituciones, centros, tecnologías, y profesionales de distintos perfiles científicos e investigativos, que integraron esfuerzos bajo el interés común de fomentar el avance de la Bioinformática en el país.

1.5. Desarrollo actual de la Bioinformática en Cuba

En la década de los años 80, Cuba comenzó la introducción y el desarrollo de las técnicas modernas de la biotecnología, justo en el momento en que este campo iniciaba su progreso en el resto del mundo. Se crearon varios centros y se integró el Polo Científico del oeste de La Habana, que situó al país en una posición competitiva incluso con respecto a los países desarrollados y lo que hace dos décadas fue una esperanza, hoy es una realidad científica, productiva y económica (Lage, 2004; 2007; Fernández y Chassagnes, 2003).

La Bioinformática constituye un modelo ideal para el desarrollo de redes de colaboración y creación de laboratorios virtuales, que pudieran permitir la contribución de otras ramas de las ciencias básicas al desarrollo de la industria biotecnológica. Sin su avance no es actualmente posible enfrentar proyectos que aspiren a desarrollar medicamentos y otros productos novedosos que permitan colocar los productos biotecnológicos nacionales en el mercado mundial.

A propuesta de la comunidad científica, las autoridades cubanas analizaron las posibilidades de iniciar en Cuba un proceso masivo de introducción de la Bioinformática. Esta decisión se interpretó como una oportunidad para producir un salto cualitativo en las aplicaciones biotecnológicas y en la integración de proyectos de alto valor científico. Fueron identificadas como fortalezas cubanas para introducir la Bioinformática, entre otras, las siguientes (Febles, 2007):

-
1. El desarrollo alcanzado por la Biotecnología.
 2. El nivel alcanzado por las universidades cubanas en las ciencias básicas.
 3. Los logros consolidados en la salud cubana.
 4. La cultura alcanzada en la informática médica.

Asimismo, se definieron cuatro frentes principales de trabajo, para concentrar esfuerzos y acelerar resultados a corto y mediano plazo:

1. Aseguramiento computacional: Aumentar la velocidad de procesamiento, incrementar la capacidad de almacenamiento y mejorar la conectividad.
2. Formación de los recursos humanos: Cursos de preparación de estudiantes y superación postgraduada.
3. Integración de proyectos: Lograr que varias instituciones trabajaran en un proyecto de investigación bioinformática.
4. Colaboración internacional: Establecer relaciones y obtener experiencia.

Sobre estas bases se emprendieron acciones cuyos frutos pueden ser observados hoy en diversas áreas y centros del país (Febles, 2007).

1.5.1. Organización del trabajo. Principales instituciones y centros vinculados al desarrollo de la Bioinformática.

Un elemento organizativo de importancia fue la creación de un grupo de coordinación, que comenzó a laborar desde febrero del 2001. En este grupo estuvo conformado por centros procedentes del Polo Científico del Oeste de la capital, del

Ministerio de Educación Superior (MES), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y el Ministerio de Salud Pública (MINSAP).

Este grupo trabajó de forma regular y propuso varios acuerdos relacionados con la estrategia de la Bioinformática del país, por lo que constituyó un paso importante en el fortalecimiento de las instituciones involucradas en el propósito y motivó que varias áreas propusieran proyectos interesantes de investigación.

También, como parte del trabajo en tal sentido y para poder disponer de una estructura que se dedicara de modo más organizado y permanente al desarrollo de la Bioinformática, se emprendieron varias acciones en el país: La Universidad de la Habana (UH) creó el Centro Virtual de Bioinformática, en el Polo Científico del oeste de la Habana, se creó, de igual manera, una estructura virtual con el objetivo de facilitar el uso de la información, el acceso a las bases de datos, compartir recursos computacionales y posibilitar un trabajo conjunto a distancia. Por otra parte, se constituyó el grupo de Álgebra del Genoma en la Universidad de las Villas (UCLV) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) creó el Centro Nacional de Bioinformática (BIOINFO).

BIOINFO se creó en el mes de junio del 2002, y tiene como misión desarrollar actividades de investigación científica, preparación de recursos humanos y la prestación de servicios especializados vinculados a la Bioinformática (Grupo Coordinador de Bioinformática, 2002).

Lo más importante, sin embargo, es que pueden enumerarse un grupo de instituciones cubanas que realizan tareas de Bioinformática y han adquirido cierta madurez y experiencia en este campo. A continuación, en orden alfabético, se ofrece una relación aproximada de instituciones cubanas incorporadas al desarrollo de esta disciplina

- Centro de Cibernética aplicada a la Medicina.
- Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología

-
- Centro de Inmunología Molecular
 - Centro de Neurociencias de Cuba
 - Centro Nacional de Bioinformática
 - Centro Nacional de Genética Médica
 - Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria
 - Instituto Finlay
 - Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas
 - Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”
 - Universidad Central de Las Villas (colabora con la Universidad de Camagüey y la Universidad de Granma)
 - Universidad de Ciencias Informáticas
 - Universidad de La Habana
 - Universidad de Oriente

1.5.2. Formación de recursos humanos para el desarrollo de la Bioinformática en el país

Una acción clave en este sentido fue el curso organizado por el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) para la formación acelerada en Bioinformática de un grupo de estudiantes de los últimos años de varias carreras universitarias, en estrecha colaboración con centros del Ministerio de Educación Superior (MES) como la Universidad de La Habana y el Instituto Superior de Ciencia y Tecnología Nuclear (ISCTN) del CITMA.

En la formación de pregrado resultan imprescindibles los sistemas de formación básica de matemáticos, científicos de computación, ingenieros informáticos, físicos, químicos, bioquímicos y biólogos. Es un hecho irrefutable, ya hoy aceptado por las instituciones cubanas de nivel superior, la imperiosa necesidad de un trabajo

multidisciplinario en esta dirección, lo cual se ha visto reflejado en los proyectos de Plan D que se han ido elaborando, y que contienen en general una flexibilidad mayor permitiendo el desarrollo de la transdisciplinariedad con más facilidad que los actuales planes de estudio.

Por otro lado la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), ha creado una facultad dedicada a la Bioinformática que ha elevado su nivel de integración con organizaciones especializadas en el desarrollo de ciencias básicas y particularmente de las ciencias de la vida.

Pero la formación de especialistas en Bioinformática, debido al propio carácter de esta disciplina científica exige la integración de conocimientos correspondientes a diferentes disciplinas, objetivo que no es siempre posible cumplirlo totalmente en el pregrado, por lo que es necesario abordar el posgrado de manera ágil, coordinada, sistemática y profunda.

En este nivel, resultaron significativas las siguientes acciones:

- El diplomado de Bioinformática impartido por el Centro Nacional de Bioinformática (BIOINFO) conjuntamente con el Instituto Superior de Ciencia y Tecnologías Nucleares (INTEC) y la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) durante el año 2004.
- El diplomado de biología molecular desarrollado por la facultad de biología de la Universidad de la Habana (con la colaboración de BIOINFO).
- La maestría de Informática médica que imparte el Centro de Cibernética Aplicada a la Medicina (CECAM) del Instituto Superior de Ciencias medicas de la Habana (ISCM-H), desde 1996 (donde participa un profesor de BIOINFO).
- Los diversos estudios realizados para el doctorado de Bioinformática impulsados por el Centro Virtual de Bioinformática (CVB) de la Universidad de la Habana.

-
- Las maestrías de genética y asesoramiento genético del Centro Nacional de Genética Medica del ISCM-H.
 - El diseño e inicio de la Maestría en Bioinformática que requirió un profundo estudio previo para conformar un programa con alto rigor académico, dirigido a fortalecer la capacidad de los especialistas en esta rama

Asimismo, para establecer un programa doctoral nacional de Bioinformática se han dado ya pasos sólidos, ejemplo de lo cual son:

1- Existencia de tres programas doctorales con diferentes modalidades, donde se realizan investigaciones y se forman doctores en colaboración con universidades avanzadas de Europa:

- Universidad de Valencia – ISPJAE: *Procesamiento paralelo y distribuido en computadoras*
- Universidad Autónoma de Madrid – Universidad de La Habana: *Bioinformática* (proyectos para el estudio de proteínas que producirán un conocimiento útil para la comunidad bioinformática cubana)
- Universiteit Hasselt - Universidad de La Habana: *Estadística médica y bioinformática* (Sobre la convergencia prevista entre Bioinformática e informática médica)

2- La Facultad de Biología de la Universidad de La Habana ha establecido un programa doctoral en biociencias moleculares que incluye contenidos importantes de bioinformática.

1.5.3. Actividades científicas realizadas que han estimulado el desarrollo de la especialidad

Una amplia relación de congresos, conferencias, talleres y otras actividades científicas, fueron desarrollados durante los primeros años de esta década. Todos han aportado alguna arista de interés para el avance bioinformático cubano,

facilitando el intercambio científico entre especialistas provenientes de Francia, Alemania, Inglaterra, Brasil y otros países de Europa y América Latina. Pudieran citarse entre los más significativos, los siguientes:

- Primer Taller Nacional de Bioinformática, realizado en el Instituto Superior de Ciencias Técnicas y Nucleares (abril 2001). Dicho evento, organizado por el grupo coordinador nacional, constituyó una importante motivación para los proyectos de investigación en Bioinformática.
- Congreso de Biotecnología, en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (noviembre 2002).
- Encuentro sobre Bioinformática Inglaterra-Cuba en la Universidad de La Habana (diciembre 2002).
- Encuentro sobre Bioinformática Francia-Cuba en el Instituto Superior de Ciencias Técnicas y Nucleares (enero 2003).
- Congreso de Biotecnología, en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (noviembre 2003).
- Segundo Taller Nacional de Bioinformática, en el Centro de Inmunología Molecular (mayo 2004).
- Primer Congreso Internacional de Bioinformática, en el Palacio de Convenciones (mayo 2004).
- Segundo Congreso Internacional de Bioinformática y Neuroinformática. Palacio de las Convenciones (febrero 2007)

1.5.4. Áreas y temas de investigación abordados desde Cuba

Actualmente pueden relacionarse un conjunto de títulos de investigaciones realizadas por diferentes instituciones cubanas que matizan el quehacer bioinformático del país y reflejan la madurez alcanzada en esta disciplina tan compleja, tales como:

-
- Creación, desarrollo y utilización de bases de datos de tipo biológico (incluyendo lo pertinente de la agricultura, el medio ambiente, el sistema de salud pública y la propia medicina).
 - Estructura y funciones de las proteínas y otras biomoléculas relevantes. Modelación molecular computacional.
 - Relaciones cuantitativas entre la estructura y las propiedades moleculares (QSAR) así como relaciones ligando - receptor para identificar estructuras moleculares bioactivas: diseño de fármacos
 - Genes y genómica
 - Microarreglos (de DNA, proteínas, tejidos, células) y química combinatoria
 - Filogenética y colecciones organizadas de especies biológicas
 - Variaciones del DNA por nucleótidos individuales (SNP o polimorfismos por solo un nucleótido)
 - Biología de sistemas
 - Modelos y algoritmos matemáticos y computacionales aplicados a las ciencias de la vida, incluyendo procedimientos de inteligencia artificial
 - Implementación y desarrollo de sistemas de cómputo de alto rendimiento (computación paralela y distribuida)

Mención aparte merece el desarrollo en el país de la neuroinformática que se encuentra muy vinculada a la Bioinformática. Esta rama específica trabaja con herramientas de diferentes ciencias, fundamentalmente de la ciencia de la computación y la matemática. Es una nueva área de investigación que trata la adquisición, almacenamiento, análisis y comprensión de datos sobre el sistema nervioso central, así como las vías para compartir dichos recursos. El objeto central de estudio de la neuroinformática, el cerebro, es tal vez el dispositivo más complejo que exista en el universo. Constituye por tanto entonces su impulso, sin lugar a dudas, una fortaleza cubana para el desarrollo científico en este campo.

1.6. Consideraciones finales del capítulo

A tenor de lo expuesto en los epígrafes anteriores, se extrajo un conjunto de ideas centrales que abarcan la esencia de lo tratado. Estas son:

-
- 1- Como disciplina emergente, la Bioinformática se encuentra aún delineando los contornos de su alcance. Actualmente su rango de acción son las técnicas de la información aplicadas a la investigación biológica.
 - 2- Basa sus resultados en buena medida a partir de la colaboración, pues además de capital y tecnología requiere sobre todo de una alta calificación y una constante superación y actualización de su personal.
 - 3- El vínculo (*o relacionamiento*) universidad-sector productivo es imprescindible en cualquier región o país del mundo si se quiere potenciar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación.
 - 4- Esta relación es mutuamente ventajosa para ambas partes. Las universidades se benefician con la búsqueda de nuevas fuentes de financiamiento que pueden constituir una palanca para el crecimiento económico y un estímulo para la investigación universitaria, para su pertinencia y aún para su relevancia. El sector productivo, por su parte, garantiza la superación y recalificación de su capital humano y adquiere nuevos especialistas capaces de enfrentar la innovación y los emprendimientos actuales.
 - 5- Existen diferencias en las características de la relación universidad-sector productivo según el tipo de formación. (Pregrado o Posgrado).
 - 6- Es particularmente necesaria la colaboración universidad-sector productivo en el caso de las disciplinas emergentes debido al desfase que puede darse entre las producciones académicas y científicas de las universidades y las necesidades reales del sector productivo, si no marchan armónicamente.
 - 7- Cuba, siendo un país del Tercer mundo y con condiciones socio- económicas particularmente complejas ha podido insertarse con éxito creciente entre las naciones que tienen un desarrollo sostenido y cada vez más sólido en el ámbito de la Bioinformática.
 - 8- El desarrollo de la Bioinformática en Cuba ha venido materializándose a partir de la integración multidisciplinaria en proyectos entre centros de los diversos polos científico-productivos y las universidades.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA COLABORACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS CON EL CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA Y EL CENTRO DE INMUNOLOGÍA MOLECULAR EN PROYECTOS DE I+D EN BIOINFORMÁTICA

La colaboración, como se ha explicado en las fundamentaciones teóricas precedentes, es el sostén esencial de los desarrollos en materia de Bioinformática. Ella se manifiesta a través de toda la red de actores que intervienen en el entramado tejido alrededor de los proyectos de investigación-desarrollo que le dan vida.

En el escenario que ocupa a los autores en esta investigación, los actores a examinar representan centros académicos, de I+D, incluso con alto componente de innovación (i) y productores de conocimiento e importantes productos y servicios de impacto económico y social reconocidos (Fernández y Chassagnes, 2003; CIEM, 2004; Lage, 2004). A la colaboración entre ellos va enfocado el estudio, que se centra en parte de los cursos escolares 2005-2006 y 2006-2007.

Sobre la universidad se abordarán los aspectos siguientes: surgimiento, misión y características generales, formación académica, producción, investigaciones, extensión y residencia, tecnologías y otras tareas. Este orden de la información es el que aparece en las escasas fuentes disponibles sobre este centro, que no tiene aún su sitio *Web* accesible desde el exterior de la organización, es decir, ni en frontera ni fuera de Cuba.

En el caso de los centros de investigación-producción, o llamados instituciones a “ciclo completo” (Lage, 2004) (ciclo más recientemente denominado por el propio Lage (2007b) como de “recursos-conocimientos-recursos”), se tratan los tópicos: surgimiento, misión y características generales, investigación y desarrollo, producción, comercialización y otras tareas de interés. Los autores han establecido cierta similitud en cuanto a los temas a caracterizar, a pesar de las misiones diferentes entre uno y los otros dos centros.

Entiéndase por producción, en el caso de la universidad, la producción de software y servicios informáticos. En las instituciones de investigación, ésta se refiere fundamentalmente a productos biofarmacéuticos.

Después de describir por separado estos tres actores de la red de I+D(+) que ellos tejen, se caracteriza la colaboración que los integra en función de siete proyectos en Bioinformática. Se presenta un diagnóstico de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de esta colaboración en cada caso y finalmente, los autores ofrecen recomendaciones para el desarrollo de software en esta disciplina.

2.1 Caracterización de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI)

2.1.1 Surgimiento, misión y características generales

El 23 de septiembre de 2002 se inicia el primer curso académico de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI). Las primeras ideas de lo que comenzó denominándose Proyecto Futuro, se conocen en marzo de ese propio año. La matrícula inicial fue de 2008 estudiantes y el claustro de más de 300 profesores, procedentes de casi todos los municipios del país. En septiembre de 2006, con el quinto curso que hoy se desarrolla (abril de 2007), la UCI alcanza la matrícula del diseño original, con más de 10 000 estudiantes.

La misión de esta joven institución es formar profesionales, comprometidos con su Patria, calificados en la rama de la Informática, a partir de un modelo pedagógico flexible, que vincula dinámica y coherentemente el estudio con la producción y la investigación, acorde con las necesidades sociales del país y de otros pueblos hermanos (Gil-Morell, 2006).

Según Castro-Díaz-Balart (2004: 125), “el propósito fundamental es lograr un centro de excelencia para la formación masiva de profesionales de nivel superior, lo que deberá alcanzarse con la ejecución de ambiciosos programas curriculares y de producción y con la aplicación de las más modernas tecnologías en la docencia”.

El surgimiento de esta universidad, a juicio de los autores, responde a una acertada “política del conocimiento” (tema abordado en 1.3.2.), implementada en Cuba por decenas de años, que en el momento exacto apostó por la biotecnología y su introducción en el país, donde hoy se exhiben resultados incluso superiores a los del primer mundo en esa área, y que en el presente, apuesta por la informática, por hacer accesible para todos el conocimiento y uso de estas tecnologías y por desarrollar la industria cubana del software. Esta última como alternativa además, para el crecimiento económico y progreso social del país a partir de las producciones intelectuales³.

La UCI, adscrita al Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC), es un resultado legítimo de la cooperación entre varias organizaciones del país. Aquí confluyen destacados académicos, profesores, científicos, especialistas de diversos sectores, obreros y directivos de los Ministerios de Educación, las Universidades, el sector empresarial y las organizaciones juveniles (UCI, 2007a).

Esta fuente explica que la Universidad se inserta en las transformaciones educacionales gestadas en el país para elevar el nivel cultural de los cubanos y su calidad de vida, a partir del aprovechamiento intensivo de los recursos humanos y el potencial intelectual creado en más de 40 años de Revolución, y sus resultados en las esferas de la educación, la salud, el deporte, la cultura y el trabajo social.

El Proyecto Futuro, materializado en una moderna institución de la educación superior cubana, muy próximo a su primera graduación de Ingenieros en Ciencias Informáticas y a su primer lustro de vida, es exponente de lo definido en el capítulo precedente como principal sustento teórico de este estudio por Arocena y Sutz (2001a y 2001b), García-Cueva (2002; 2006a; 2006b) y Núñez-Jover *et al.* (2007a, 2007b).

³ 47 años después, continúa haciéndose presente el futuro de hombres de ciencia, avizorado por Fidel Castro desde los inicios de la Revolución. Véase discurso pronunciado el 15 de enero de 1960 por el 20 aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba (Castro, 1960).

Dentro del paradigma de la nueva universidad, concepto en construcción según el punto de vista de los autores, ya explicado con anterioridad en 1.3.2. (Núñez-Jover *et al.*, 2007b), la UCI se considera una “universidad productiva”. Este término de “productiva”, por primera vez usado en Cuba para caracterizar a una institución educacional de este tipo, tiene como más cercano antecedente a las oficinas de transferencia de resultados de investigación, creadas en los noventa y que representaron “un esfuerzo por crear una interfaz capaz de relacionar más vigorosamente el conocimiento universitario con la sociedad, incluida la ampliación de la capacidad universitaria de captar recursos a partir de sus conocimientos” (Núñez-Jover *et al.*, 2007b: 171).

A juicio de quienes realizan esta investigación, universidad productiva es también un concepto en evolución, su definición actual no es la final porque forma parte de transformaciones aún en curso, que sistemáticamente incorporan nuevas dimensiones. En este orden, llama la atención una nueva propuesta de Arocena y Sutz (2005) que concibe y fundamenta el concepto de “universidades para el desarrollo”, que pudiera ser objeto de futuros trabajos.

Universidad productiva, más que un concepto, en este momento preciso, los autores consideran llamarla una “idea fuerza”, a juzgar por lo que Núñez *et al.* (2007b) manifiestan en su reciente libro “Innovaciones creativas y desarrollo humano”, porque acompaña las profundas transformaciones que están teniendo lugar en el sistema de educación superior. Porque aún dentro de los límites atribuibles a la “nueva universidad”, quedan muchos aspectos por comprender y proyectar suficientemente, entre ellos la gestión del conocimiento en el contexto territorial, nacional, regional e internacional. Y porque en materia de investigación y producción de software, como proceso y como industria, también queda “camino por andar”.

El Estado cubano ha puesto interés especial en la accesibilidad a las tecnologías de la información y las comunicaciones para convertir a Cuba, una nación pobre del Tercer Mundo y bloqueada por la política hostil del gobierno de los EE.UU., en

paradigma de la sociedad de la información y el conocimiento para todos. En ese empeño, la UCI es un centro estratégico (Gil-Morell, 2006).

Esta casa de altos estudios es, al mismo tiempo, hogar, laboratorio, industria, taller de creación, galería de arte al aire libre, plaza cultural, centro investigativo y de progreso, que abre sus puertas al intercambio académico, profesional y comercial.



a) b) c)
Figura 2.1. Instalaciones de la Universidad de las Ciencias Informáticas. a) Vista aérea de una parte de la residencia. b) Edificio docente donde radican las Facultades 6 y 9. c) Laboratorio de investigación-producción.

Las actividades académicas y productivas de la universidad nacieron a la par de una gigantesca obra constructiva, para crear las condiciones de vida y de trabajo necesarias para el desarrollo y ampliación de sus capacidades (Figura 1). Estas inversiones deben convertirla en una ciudad digital, en la que actuarán 20 000 personas, formando el capital humano especializado, investigando y produciendo software y servicios informáticos para la sociedad cubana y el mundo (UCI, 2007a).

En su corta historia esta universidad ya tiene resultados relevantes, respaldados por otras instituciones del país y por el esfuerzo de toda la comunidad universitaria (UCI, 2007a). Entre ellos:

- Altos valores de promoción y retención académicos, elevada calidad en la formación académica, cultural, deportiva, y de valores humanitarios y revolucionarios.
- Más del 60% de los estudiantes incorporados a proyectos productivos e investigativos de software en interés y por encargo de la sociedad cubana y de

otros países, en campos como la educación, la salud, el deporte, gobierno en línea, Software Libre, sitios y portales *Web*, productos multimedia y otros.

- Prestación de asistencia técnica y capacitación en el país y en el exterior en diversos proyectos de informatización, formación y entrenamiento de los usuarios y clientes.
- Participación destacada en eventos científico-técnicos nacionales y en el exterior, incluidas las dos etapas de la Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información, convocada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), realizadas en Ginebra (2003) y Túnez (2005).
- Premios en concursos nacionales e internacionales y en varios eventos competitivos como el Forum de Ciencia y Técnica a todos los niveles.
- Desarrollo de procesos de extensión universitaria, que exhiben resultados destacados dentro del movimiento artístico de la Federación Estudiantil Universitaria (FEU).
- Celebración de los Juegos Deportivos Universitarios con altos índices de participación y amplia presencia en eventos deportivos a nivel nacional.
- Participación activa y creciente en el perfeccionamiento y ampliación de la especialidad de Informática en la enseñanza media superior en el país.
- Contribución de estudiantes, profesores y trabajadores en las Brigadas Estudiantiles de Trabajo a las que dedican no menos de quinde días de las vacaciones de verano al trabajo social voluntario en tareas como el levantamiento informático de la sociedad cubana en el año 2003, en las Misiones Milagro de 2004 y 2005 con la atención de más de 6 000 y 20 000 pacientes respectivamente.
- Presencia activa de la FEU en la vida de la comunidad universitaria y su integración con el movimiento estudiantil del país.

-
- Atención e intercambio con personalidades de la ciencia, la cultura, el deporte, la política y el gobierno, nacionales y extranjeros. Entre las visitas más importantes se destacan las del Primer Ministro de Malasia y el Presidente de la República Popular China en noviembre de 2004.
 - Integración y protagonismo activo en las actividades políticas convocadas por la dirección de la revolución.

2.1.2. Formación académica

En la UCI, el pregrado tiene la misión de dirigir la formación de Ingenieros Informáticos con conocimientos, hábitos, habilidades y valores sólidos sustentados en una concepción científica y dialéctico-materialista del mundo, que estén comprometidos con su Patria y que actúen como profesionales responsables, en el campo de la Informática Aplicada. En tal sentido organiza y ejecuta acciones concretas, a través del trabajo (docente y científico) metodológico de las disciplinas y asignaturas dirigidas a lograr una sólida formación profesional en el futuro Ingeniero en Ciencias Informáticas (UCI, 2007a).

Esta universidad tiene una estructura de 10 Facultades, en todas se estudia una especialidad única pero cada una tiene un perfil diferente (Anexo 1) (UCI, 2007b) en el que se preparan sus estudiantes, producen e investigan y según el cual la formación es diferenciada, incluso por proyectos. Llama la atención que estos perfiles se corresponden con prioridades de la ciencia cubana en la actualidad.

En función del logro de tales propósitos es indispensable la superación constante del claustro de profesores, apunta la fuente citada, tanto en el orden académico y pedagógico como científico. De esto se encarga la Dirección de Formación Posgraduada, que contribuye asimismo a la superación de los profesionales de la informática para elevar su competitividad, desempeño y capacidad innovadora en la esfera de la investigación, la docencia y la producción de software.

La UCI cuenta con más de mil profesores, 176 aulas y 25 salones de conferencia con medios audiovisuales, computadoras y televisores, más de 120 laboratorios de computación, cinco centros de autoaprendizaje y servicios para la enseñanza de idiomas. Tiene además Biblioteca Virtual, servicios de fotocopia, impresión y digitalización de textos (UCI, 2007b).

Otra cuestión de medular importancia para la consecución de los retos que supone la formación académica en la UCI, la constituye el trabajo de la Dirección de Teleformación, que tiene la misión de desarrollar e implementar modelos de formación con la aplicación de las (TIC), combinando el protagonismo pedagógico con la aplicación de herramientas tecnológicas avanzadas, contribuyendo a aumentar la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje en el pregrado y el postgrado (Castro-Díaz-Balart, 2004; UCI, 2007a).

2.1.3. Producción

La UCI es una universidad de nuevo tipo, como se explicó antes, en la que el proceso de formación y el proceso de producción se integran, por el papel fundamental que juegan los proyectos productivos en la preparación de los estudiantes y en la misión de la universidad.

Desde los primeros años de la carrera, los estudiantes se vinculan a los proyectos productivos que son 100% reales, en un diseño que contempla el aumento progresivo en las horas dedicadas a esta actividad. Ya en el segundo semestre de segundo año, cada educando debe dedicarle a la labor productiva unas 20 horas semanales. Los proyectos tienen tres grandes destinos en lo fundamental: la informatización dentro del propio campus universitario, sus procesos y servicios; la informatización de áreas vitales de la sociedad cubana como salud, educación, cultura, deporte, turismo, prensa, Software Libre y la exportación de software y servicios informáticos (Castro-Díaz-Balart, 2004; UCI, 2007a; 2007b).

Los estudiantes desempeñan en los proyectos los diferentes roles que existen en la industria del software: programadores, documentadores, analistas, arquitectos,

líderes de proyectos. También sus profesores actúan en los proyectos en sus roles y como especialistas funcionales. Para estos fines de la producción ya existen más de 1500 puestos (PC) y cuatro laboratorios especializados. Se trabaja en más de 150 proyectos (unos 20 de exportación) donde participan más de 4 500 estudiantes y 600 profesores (UCI, 2007a; 2007b).

Como señalan estas fuentes, la actividad productiva en la UCI es fertilizada asimismo por la concurrencia de los esfuerzos de profesionales altamente calificados de todo el país, que participan en los diferentes proyectos, en cualesquiera de los roles ya mencionados o como especialistas funcionales, expertos en calidad, etc. La propia existencia de la UCI como universidad crea un grupo de fortalezas que hacen viable este experimento. Entre otras, se consideran las siguientes:

- Concentración en un mismo lugar de miles de especialistas en constante actualización y ejercicios de sus conocimientos
- Edad promedio muy joven
- Adecuada tecnología instalada
- Poder de convocatoria para vincular expertos e instituciones del país en torno a los proyectos

La vida de las organizaciones estudiantiles y juveniles se relaciona igualmente a los proyectos productivos. Estas adecuan su estructura, de manera que en ocasiones coinciden en las aulas de proyectos, estudiantes de varios cursos, a diferencia de lo que sucede en otras, donde todos son del mismo año.

Los estudiantes involucrados en un proyecto, además de la formación prevista en el plan de estudios, reciben asignaturas específicas de acuerdo a las demandas de la producción, lo que contribuye a formarlos en un segundo perfil profesional (Anexo 1).

Sobre la producción de software desarrollada en los cinco cursos, cabe destacar que los proyectos de exportación han reportado más de 50 millones de USD en los últimos tres años como promedio de ingresos sostenidos (López, 2007; Lavandero, 2007).

2.1.4. Investigaciones

La UCI cuenta con un Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica (SCIT) que integra todos los factores, recursos y acciones de la institución en función de los objetivos propuestos y que está dirigido a cumplir con la política científica trazada a partir de un diagnóstico previo, las bases en la que se sustenta esa política y la estrategia elaborada para su implementación; teniendo en cuenta los intereses y prioridades del país, el potencial tecnológico y humano disponibles así como las tendencias internacionales (UCI, 2007a).

Las investigaciones en la UCI potencian los resultados en la producción de software y la formación, con la participación importante del movimiento estudiantil. Algunos logros significativos fueron enunciados en el epígrafe 2.1.

En la producción científica de la Universidad, el núcleo central lo constituyen los Grupos de Investigación y el Centro de Innovación y Calidad de la Educación (CICE), que responden a las líneas científicas de prioridad universitaria, que son (UCI, 2007a):

- Bioinformática
- Procesamiento digital de imágenes y señales
- Teleformación
- Formación del Ingeniero Informático
- Informática Educativa
- Realidad Virtual
- Servicios Telemáticos
- Seguridad Informática
- Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología
- Software Libre
- Inteligencia Organizacional
- Nuevas Tecnologías de Base de Datos
- Matemática y Física Computacionales
- Ingeniería de Software

-
- Inteligencia Artificial Aplicada
 - Programación avanzada
 - Gestión del conocimiento
 - Sistemas de Información para la Salud

El Grupo de Investigaciones en Bioinformática de la UCI, uno de los primeros en surgir en el curso 2002-2003, pertenece a la Facultad 6, en correspondencia con su segundo perfil de formación-producción. El Grupo se dedica al desarrollo de software para esta joven disciplina científica y ejecuta actualmente 20 proyectos de I+D con varios centros del Polo Científico del oeste de la capital como el Centro de Inmunología Molecular (CIM), Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), Centro Nacional de Genética Médica (CNGM), Centro de Neurociencias de Cuba (CNC) y Centro de Química Farmacéutica (CQF), entre otras instituciones (Moreno, 2007).

Según esta fuente, los principales esfuerzos del grupo están concentrados en el desarrollo de aplicaciones para la Simulación de Sistemas Biológicos, el Diseño de Fármacos Asistido por Computadoras y Herramientas para el Manejo de Información Biológica. Más de diez de sus profesores-investigadores están concluyendo la primera edición de la Maestría en Bioinformática en Cuba.

2.1.5. Extensión universitaria y residencia

En la Universidad, las actividades de extensión universitaria tienen un espacio importante dado su doble carácter: formativo y recreativo y cuentan con el apoyo y participación de toda la comunidad universitaria. La existencia de un sólido movimiento tanto deportivo como de artistas aficionados puede avalar lo antes referido (UCI, 2007a).

El proceso extensionista apunta hacia la formación de una cultura general e integral de la comunidad universitaria en interacción con la sociedad, para cuyo objetivo se

cuenta con el concurso de profesores e instructores de danza, música, teatro, artes plásticas y literatura quienes imparten talleres de creación y apreciación.

La práctica de deportes es otra de las formas de esparcimiento más frecuentes dentro de la universidad. Sus estudiantes, profesores y trabajadores mantienen una vida más saludable, a partir del ejercicio físico. Para ello disponen de modernas instalaciones deportivas y áreas de fútbol, atletismo, tenis de campo, baloncesto, voleibol y un local para la práctica de ajedrez (UCI, 2007a).

Una de las peculiaridades de la UCI radica en que la totalidad de sus estudiantes y una buena parte de sus profesores y trabajadores viven dentro del recinto universitario por lo que el área de residencia ocupa un lugar primordial en la vida de la universidad. Hoy existen en total, alrededor de 120 edificios de residencia estudiantil y de profesores y trabajadores con más de 1400 apartamentos (UCI, 2007b).

2.1.6 Tecnologías

La universidad tiene una “red local con un *backbone* de fibra óptica de 10Gbps” (Castro-Díaz-Balart, 2004: 126), más de 7000 puntos de red y alrededor de 6700 computadoras. Cuenta con una Planta telefónica con 2500 líneas. La Televisión Universitaria transmite 20 canales internos por cable, entre ellos los cuatro nacionales y posee un estudio de TV (UCI, 2007b). Hoy cuenta además, con un moderno y potente laboratorio para diseño y desarrollo de autoría multimedia para masterizar productos a replicar en CD o DVD (López, 2007).

2.1.7 Otras tareas

La UCI ha continuado extendiendo su alcance nacional y suma nuevas misiones y tareas constantemente a su labor cotidiana. En este sentido, la UCI presta atención, coordina y asesora a todos los Institutos Politécnicos de Informática (IPI) existentes en el país, donde una parte de los estudiantes de quinto año de la universidad ejercen como profesores desde que inició el actual curso 2006-2007.

Otro empeño enorme ha sido la gestación y puesta en marcha de tres Facultades Regionales (conocidas como Mini-UCI) en las zonas geográficas oriental, central y occidental del país: una en Manzanillo, Granma; otra en Ceballos, Ciego de Ávila y la tercera en Artemisa, La Habana. De igual forma, estudiantes del último año, profesores y varios directivos de la sede central de la UCI en la capital cubana, han conformado los claustros de estas facultades. Las tres fueron inauguradas el 4 de abril de 2007. Su matrícula se nutre de estudiantes graduados de los IPI. Consideran los autores que esta acción es parte de la misma política científica del país que continúa incrementando el acceso a las tecnologías y poniendo el conocimiento al alcance de las grandes mayorías.

Desde hace tres años, la UCI desarrolla además, un Curso Para Trabajadores (CPT) donde muchos de sus técnicos en Informática se forman como futuros profesionales del ramo. Salta a la vista que, en tan poco tiempo, la institución esté enfrascada en los procesos tradicionales de los centros de educación superior consagrados. Y de ellos tendrá que seguir nutriéndose y aprendiendo, a la vez que aportará las nuevas experiencias en la formación y producción de software.

A tenor de lo reflejado en los epígrafes precedentes, puede afirmarse que en la Universidad de las Ciencias Informáticas existe una infraestructura tecnológica fuerte y una formación curricular que favorecen el desarrollo de proyectos de colaboración con un alto componente de I+D en el campo de la Bioinformática.

2.2. Caracterización del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB)

2.2.1. Surgimiento, misión y características generales

En 1981 un grupo de investigadores de avanzada inició en Cuba la producción de interferón alfa leucocitario humano y, en el propio año, el interferón producido se utilizó con efectividad en el tratamiento de epidemias de dengue y conjuntivitis hemorrágica aguda. A partir de entonces, el desarrollo de las investigaciones en los campos de la biología molecular, la ingeniería genética y especialidades afines ha

mantenido un ritmo creciente cuyo momento más importante lo constituyó la creación del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) el 1° de julio de 1986 (CIGB, 2003; Redacción Ahora, 2006; Rodríguez, 2006).

El CIGB, institución científica insignia y vanguardia de las biociencias en todo el Tercer Mundo, constituye un gran complejo investigativo-productivo dotado de equipamiento de punta, capacidades de producción considerables y un personal ocupado en el desarrollo de nuevos productos en todas sus fases, desde el clonaje y la expresión de proteínas con técnicas de recombinación de ADN (ácido desoxirribonucleico) hasta la producción en escalas industriales (CIGB, 2003). Forma parte del Polo Científico de La Habana, un complejo conformado por unas 40 instituciones, ocho de las cuales son modelo por el valor de sus invenciones (Lage, 2007a; Rodríguez, 2006).

La misión de este centro se establece a partir del rol integrador que juega en la esfera de la Biotecnología Cubana, con alta capacidad científico tecnológica. Asume la responsabilidad de contribuir directamente en el desarrollo económico y social del país (CIGB, 2003). Su creación, como la incursión a inicios de los 80, en la biotecnología, cuando apenas comenzaba en el mundo su despegue, es muestra elocuente de la acertada y oportuna política científica y tecnológica del Estado cubano, que en opinión de los autores, ha conducido a ubicar esta rama en niveles de competitividad con el primer mundo, difíciles de igualar por otros países de la región, e incluso desarrollados.

Su desempeño se proyecta en las investigaciones, generando conocimientos para la obtención de nuevos productos, servicios y la actividad comercial, basados en un sistema de calidad que garantiza la satisfacción de los clientes y teniendo en cuenta la dimensión ambiental. Su impacto está destinado a la salud humana, las producciones agropecuarias, acuícolas, y al medio ambiente (Herrera, 2003; 2007).

La primera de estas fuentes advierte que el CIGB es además, miembro de organizaciones internacionales que contribuyen a complementar el trabajo y cumplir su misión: *The International Center for Genetic Engineering and Biotechnology, The*

Global Alliance for vaccine & immunization, Third World Academy of Sciences Asociación Latinoamericana de Integración, United Nations University, Eastern Region Biotechnology Initiative, Organización Iberoamericana de Biología Molecular, The Developing Countries Vaccine Manufacturers Network, Technical Co-operation on Plant Biotechnology in Latin America and the Caribbean, Asociación Latinoamericana de Biotecnología y Bioingeniería y European Molecular Biology Network.

El centro posee la más moderna y eficiente tecnología para las investigaciones biocientíficas, e instalaciones cuidadosamente estudiadas y construidas para el desarrollo ininterrumpido del trabajo, con un área total de más de 60 000 m². Las edificaciones principales del CIGB abarcan 43 200 m² y contienen los laboratorios climatizados, las oficinas administrativas y las áreas de servicios tanto generales como dedicados directamente a la labor investigativa. Otras facilidades incluyen un teatro con capacidad para 400 asistentes y sistema de traducción simultánea múltiple en 4 idiomas, salas de conferencias y seminarios, laboratorios de idiomas, biblioteca, gimnasio (CIGB, 2003).

El CIGB desarrolla un vasto programa de entrenamiento que abarca desde la educación de pregrado hasta estudios de postgrado, que incluyen maestrías en ciencias y doctorados.

Las excelentes instalaciones de la institución permiten la celebración de eventos nacionales e internacionales. El CIGB organiza periódicamente el evento científico internacional "Biotecnología Habana" y publica la revista bilingüe "Biotecnología Aplicada" (CIGB, 2003).

La maduración de este centro ha permitido que el enorme y continuado esfuerzo investigativo haya alcanzado una realización comercial sustancial tanto externa como interna y se proyecte con dimensiones de éxito crecientes tanto a mediano como a largo plazo.

2.2.2. Investigación y Desarrollo (I+D)

El CIGB organiza la investigación a partir de dos direcciones fundamentales: una dirección orientada a las investigaciones biomédicas y una segunda dedicada a las investigaciones agropecuarias. Asimismo, cuenta con una unidad de desarrollo biotecnológico que tiene la misión de convertir los resultados científicos en productos y/o tecnologías.

En la Dirección de Investigaciones Biomédicas laboran cientos de investigadores profesionales (más de 40 son Doctores en Ciencias) y técnicos. Los temas fundamentales de trabajo están enfocados a las enfermedades infecciosas, Bioinformática, cáncer, inflamación, autoinmunidad, cicatrización y enfermedades cardiovasculares (CIGB, 2003).

Según esta fuente, en la Dirección de Investigaciones Agropecuarias el trabajo investigativo se lleva a cabo a través de dos departamentos: el de Plantas y el de Biotecnología Animal.

El Departamento de Plantas se dedica al mejoramiento genético de especies vegetales de interés agrícola y a la investigación de compuestos y microorganismos de interés para la protección de los cultivos, así como para la alimentación y para la salud humana y animal.

El Departamento de Biotecnología Animal investiga en las técnicas de la biotecnología moderna aplicadas a la manipulación genética y fisiológica de animales de granja, peces y crustáceos, así como al desarrollo de vacunas de nueva generación y productos para la salud animal.

En la Unidad de Desarrollo Biotecnológico el proceso completo de desarrollo abarca desde el establecimiento de las tecnologías a escala de laboratorio con todos los parámetros de calidad requeridos, hasta su escalado y producción de lotes pilotos. Todo este proceso se rige por una metodología de dirección integrada de proyectos, que garantiza una correcta planificación de los objetivos y una revisión sistemática de su avance. En esta unidad se combinan las normas de buenas prácticas de

laboratorio y de fabricación sustentadas en un sistema documentado que garantiza la máxima calidad y seguridad de los productos y tecnologías que se desarrollan (CIGB, 2003; Rodríguez, 2006; De la Osa, 2006; EUDRALEX, 2006).

Para garantizar su misión, la Unidad de Desarrollo Biotecnológico del CIGB cuenta con laboratorios especializados en microbiología, fermentación de microorganismos, purificación de biomoléculas, formulación, métodos analíticos, etc. y una planta piloto para la producción de lotes a pequeña escala. Cuenta además, con un personal formado por científicos y tecnólogos con gran experiencia en diversos aspectos de la biotecnología moderna que incluye, modificación genética de microorganismos, fermentación de bacterias y levaduras, cultivo de células superiores, purificación de proteínas y otras biomoléculas, formulación y pruebas de estabilidad, desarrollo de técnicas analíticas e ingeniería de control.

2.2.3. Producción

La misión de la Dirección de Producción consiste en el aseguramiento de los diferentes productos que el CIGB oferta tanto al consumo doméstico como a clientes internacionales. Para ello cuenta con alrededor de 6000 m² de áreas que cumplen con lo requerido por las Buenas Prácticas de Manufactura⁴ o normas GMP (del inglés *Good Manufacturing Practice*) (EUDRALEX, 2007) y más de 400 trabajadores, un 50% de los cuales son profesionales con alta calificación y entrenamiento acorde a las exigencias internacionales (CIGB, 2003; Rodríguez, 2006).

Para cumplir con esta misión se realizan de forma simultánea una serie de tareas dentro de las que se encuentran: la elaboración de ingredientes activos para su terminación en otras entidades del Polo Científico y de la industria farmacéutica en general; la gerencia de toda la actividad productiva hasta la salida comercial de los productos; una intensa actividad de desarrollo que incluye los procesos productivos de los productos ya existentes en el mercado, el establecimiento de los procesos para aquellos productos que se incorporan como nuevos al portafolio del centro y el

⁴Buenas Prácticas de Manufactura: es un conjunto de normas y procedimientos a seguir en la industria farmacéutica para que los productos sean fabricados de manera consistente y acorde a ciertos estándares de calidad (EUDRALEX, 2007).

desarrollo de todas las nuevas formulaciones que diversifican la gama de ofertas hacia el mercado, todo esto con el objetivo de aumentar de forma constante la competitividad en el mercado de los productos que se ofertan.

Véanse sus líneas y productos principales (CIGB, 2003) en el Anexo 2.

2.2.4. Comercialización

Heber Biotec, S.A. Empresa Comercializadora de Productos Biotecnológicos y Farmacéuticos, es la encargada de comercializar los productos obtenidos en el CIGB (Anexo 2). En el año 1991 nació del laboratorio y se convirtió en empresa, con el objetivo de comercializar dichos productos a escala internacional, llevando el mensaje de salud y bienestar a otros pueblos del planeta. La empresa Heber Biotec, S.A. dio vida al propósito de investigar, desarrollar, producir y comercializar (Heber Biotec, SA., 2004).

Empresa comercializadora de productos biotecnológicos y farmacéuticos de avanzada, servicios tecnológicos, proyectos de I+D y derechos de propiedad industrial, su misión es extender a nivel internacional la prevención de enfermedades, proporcionar mayor calidad de vida y protección del medio ambiente (Heber Biotec, SA., 2004).

Recientemente, en abril de 2007, tuvo lugar la novena edición del Premio Nacional al Exportador 2006 otorgado por el Ministerio del Comercio Exterior de Cuba. Por tercera ocasión, se entregó el Premio Especial al Mejor Exportador por encargo del Estado, distinción que recibió la empresa Heber Biotec S.A., entidad insigne del Polo Científico, la cual ostenta el mayor volumen de exportación y ha sobrecumplido sus obligaciones, obteniendo una cifra récord de exportación que supera en un 79 por ciento lo alcanzado el año anterior (Cubavisión Internacional, 2007; Veloz, 2007; Terrero, 2007).

2.2.5. Otras áreas de interés

El CIGB cuenta además con una Dirección de Calidad, establecida a fines del año 1990 con el propósito principal de lograr un sistema eficiente de gestión de la calidad. Las funciones específicas que desarrolla se distribuyen en los Departamentos de Control de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad (CIGB, 2003).

De igual forma, el centro cuenta con una unidad responsabilizada con el uso y cuidado de los animales de laboratorios (Bioterio) que se necesitan para desarrollar el trabajo. Su misión fundamental es prestar servicios desde la etapa de investigación pasando por la fase de desarrollo biotecnológico hasta la etapa de control de calidad del producto. Este proceso se lleva a cabo con el cumplimiento de principios éticos relacionados con el empleo del animal de laboratorio y los requerimientos de calidad (CIGB, 2003).

Dicha fuente señala que otra de las áreas que cumple un rol de particular importancia dentro de este centro, lo constituye la Dirección de Ensayos Clínicos y Asuntos Regulatorios que orienta los trabajos de investigación y desarrollo desde el punto de vista de las regulaciones existentes, coordina y controla los ensayos clínicos en Cuba y en el extranjero y prepara y controla la documentación y los trámites encaminados al registro sanitario de los productos del CIGB.

Con dos décadas de fundado, 1000 trabajadores y 500 científicos, el CIGB desarrolló en este tiempo unos 50 proyectos, y continúa trabajando en muchos más. Dos de sus resultados más recientes fueron lanzados a mediados del 2006: "Heberpenta" una vacuna combinada contra la difteria, tétanos, tos ferina, hepatitis B y la *haemophilus influenzae* de tipo b, está basada en un mecanismo sintético que le valió en el año 2005 a sus creadores isleños, premios mundiales y en Estados Unidos. Es la primera de su tipo que se produce íntegramente en un país de América Latina. Y el otro producto presentado fue CITOPROT-P, que estimula la cicatrización de la úlcera del pie diabético, un problema que termina entre un 10 y 15% de los

casos con la amputación de miembros y recidivas y que afecta a un 10% de los 190 millones de personas en el mundo que padecen diabetes mellitus (Rodríguez, 2006).

2.3. Caracterización del Centro de Inmunología Molecular (CIM)

2.3.1. Surgimiento, misión y características generales

En septiembre de 1989, en un pequeño laboratorio en el cuarto piso de un hospital capitalino, y a partir de las aspiraciones de un grupo de científicos, con determinada formación académica y proyectos incipientes de investigación, de hacer aportes al desarrollo socioeconómico del país, surge la idea de crear un centro nuevo (Lage, 2007a).

Se empezó a construir en enero de 1991. La Unión Soviética desapareció en 1992, dejando a Cuba sin suministros y sin mercados, generando una caída del PIB de más de un 35 por ciento. Apenas estaban las columnas y las vigas montadas para el nuevo centro y a pesar de la difícil situación socioeconómica del momento y en medio del llamado período especial, se concluyó en 1994 (Lage, 2007a).

El Centro de Inmunología Molecular (CIM), inaugurado el 5 de diciembre de 1994, tiene como principal misión obtener y producir nuevos biofármacos destinados al tratamiento del cáncer y otras enfermedades crónicas no transmisibles e introducirlos en el Sistema Nacional de Salud Pública. Hacer la actividad científica y productiva económicamente sostenible y realizar aportes importantes a la economía del país (CIM, 2004; Castro-Díaz-Balart, 2004).

Apuntan estas fuentes que para el diseño y construcción de este centro se utilizaron las actuales guías para las Buenas Prácticas de Producción (o normas GMP, antes explicadas) adoptadas por Cuba y recomendadas por la Organización Mundial de la Salud. Particularmente aquellas acogidas también por los países miembros de la Comunidad Europea (EUDRALEX, 2007). La edificación es básicamente una construcción biplanta que abarca más de 15 000 metros cuadrados.

En el CIM, institución que también forma parte del Polo Científico de La Habana, laboran alrededor de 600 trabajadores, en su mayoría científicos e ingenieros provenientes de diversas disciplinas y especialidades. Este personal está organizado administrativamente en tres áreas principales: Investigación-Desarrollo, Producción y Aseguramiento de la Calidad (CIM, 2004; Lage, 2007a).

2.3.2. Investigación y Desarrollo (I+D)

El objetivo principal de las investigaciones en el CIM es la búsqueda de nuevos productos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer y enfermedades relacionadas con el sistema inmune (CIM, 2004).

La propia fuente y Riera (2006) destacan que las líneas de investigación básica están concentradas en la inmunoterapia del cáncer, especialmente en el desarrollo de "vacunas moleculares", ingeniería de anticuerpos, ingeniería celular, Bioinformática y regulación de la respuesta inmune.

El CIM realiza, en hospitales altamente especializados, ensayos clínicos para el diagnóstico de tumores por imágenes y tratamiento de cáncer de diferentes orígenes y otras enfermedades del sistema inmune.

Esta área posee laboratorios equipados para inmunoquímica, radioquímica, biología molecular, cultivo celular e instalaciones para la experimentación con modelos animales y una Planta Piloto según GMP (o cGMP) (EUDRALEX, 2007) que suministra los productos para Ensayos Clínicos (CIM, 2004).

En reportes recientes, Lage (2007a) explica que en el CIM actualmente se conducen más de 30 ensayos clínicos de tratamiento de cáncer en Cuba y más de 15 en el exterior, incluyendo ensayos en varios países altamente industrializados y hay acuerdos comerciales con más de 47 países, incluyendo Estados Unidos. El gobierno de Washington, a pesar del bloqueo económico y comercial, emitió una licencia especial para la transferencia (de Cuba hacia allá) de la tecnología de una vacuna terapéutica para el cáncer del pulmón. Sobre el caso, dice el documento del Departamento del Tesoro: *"In recognition of the humanitarian benefit that may result*

from the testing, development, manufacturing, marketing, distribution and sale of the Cuban-origin vaccines used to treat lung cancer and other solid tumors".

Este hecho se produjo en julio de 2004, cuando el CIM y la empresa estadounidense *CancerVax Corporation*, de California, firmaron en la capital cubana, en presencia del presidente Fidel Castro, un acuerdo, el primero en más de 40 años, de transferencia de tecnologías biotecnológicas para la producción cooperada de vacunas contra el cáncer. En EE.UU. el cáncer de pulmón provoca más de medio millón de muertes anuales (Riera, 2006).

Dicha fuente indica que el director y cirujano jefe del Instituto de Cáncer John Wayne, de Los Ángeles, calificó a las vacunas cubanas contra el cáncer, diseñadas para estimular el sistema inmunológico, de "descubrimiento único y sin precedentes".

Riera (2006) apunta además, que en esa ocasión, el director del CIM, el doctor Agustín Lage, destacó el hecho de que no existe tradición de transferencia de tecnologías, especialmente en la Biotecnología, desde el Sur hacia el Norte. En opinión de los autores de este trabajo, este hecho constituye una fortaleza de la ciencia, la tecnología y la innovación en Cuba que con su política del conocimiento, está sentando las bases de lo que un país subdesarrollado puede lograr cuando se extienden, en la mayor medida posible, los beneficios del conocimiento a todos los ciudadanos.

2.3.3. Producción

Como se ha descrito, el CIM es una construcción biplanta. En la planta baja están situadas las áreas de investigación, desarrollo, farmacología y toxicología, aseguramiento de la calidad, producción cGMP y producción diagnóstica, mientras que en la planta alta se encuentran los servicios técnicos auxiliares.

El área de producción cGMP (1 100 m²) ha sido diseñada para brindar la máxima protección al producto. Existe una cascada de presiones positivas del área de protección clase 100, hacia las áreas clase 10 000 y convencionales (CIM, 2004).

Esta fuente señala que en el escalado de la producción se utilizan fermentadores de fibra hueca y tanque agitado para el cultivo a escala industrial de células de mamíferos, que brindan una capacidad de producción de varios kilogramos al año de proteínas recombinantes o anticuerpos monoclonales.

La purificación de productos con calidad inyectable para uso humano se realiza con una tecnología rápida y altamente automatizada, combinando la cromatografía de intercambio iónico, afinidad y tamiz molecular, brindando un producto de alta pureza y actividad biológica.

Todo el sistema de producción está soportado por poderosos sistemas técnicos auxiliares que incluyen climatización, generación y distribución de agua inyectable (WFI en inglés), vapor puro, aire comprimido, gases medicinales, tratamiento de residuales y unidades de "limpieza en lugar" (CIP en inglés) que son utilizadas para limpiar de forma automatizada el equipamiento fijo de gran capacidad, las tuberías de transferencia de medio de cultivo y los tanques móviles (CIM, 2004).

Un eficiente Sistema de Garantía de la Calidad, con personal altamente calificado y con el equipamiento de más alto nivel para el control analítico y biológico, garantiza la calidad del proceso productivo y de los productos finales.

2.3.4. Comercialización

CIMAB S.A. es representante exclusivo del CIM. Desde el año 1992 CIMAB S.A. se dedica a la comercialización de productos biofarmacéuticos en el mercado nacional e internacional, en especial anticuerpos monoclonales y otras proteínas recombinantes, para el diagnóstico y el tratamiento del cáncer y otras enfermedades relacionadas con el Sistema Inmune.

CIMAB S.A., comercializa diversos productos del CIM y otras instituciones científicas, (CIM, 2004) como se observa en el Anexo 3.

La negociación de proyectos de investigación en diferentes etapas de desarrollo relacionados fundamentalmente con anticuerpos monoclonales y vacunas

terapéuticas para el tratamiento del cáncer, es otro de los objetivos de CIMAB S.A. Su política de negociación incluye la licencia de proyectos y patentes de tecnología así como alianzas estratégicas para el desarrollo conjunto de estos proyectos.

CIMAB S.A. ha establecido asociaciones comerciales con más de 25 empresas farmacéuticas en diferentes países, varios acuerdos de licencia para el desarrollo conjunto de proyectos de investigación, así como acuerdos de licencia de patentes (CIM, 2004).

Según Lage (2007a), hoy el CIM produce dos proteínas recombinantes, siete anticuerpos monoclonales, y cinco vacunas de cáncer. Varios de estos productos, cuyo ensayo clínico concluyó, se exportan a más de 15 países, generando un flujo económico positivo. El Centro está en expansión en Cuba y opera fábricas en China e India.

Sobre este particular, hace un año (Granma Internacional, 2006) en la India fue inaugurada una moderna planta para producir un anticuerpo monoclonal humanizado desarrollado por especialistas del CIM, que se emplea con resultados prometedores en el tratamiento de tumores de cabeza y cuello, en combinación con la radioterapia. Es el h-R3 o CIMAher, registrado en Cuba desde el 2002 y con patente en 17 naciones. La nueva planta forma parte de la empresa mixta *Biocon Biopharmaceutical*, representada por la firma cubana CIMAB y la india Biocon, que se encargará también de la comercialización del anticuerpo monoclonal.

En abril último, en la novena edición del Premio Nacional al Exportador 2006 en Cuba, que se entrega a las empresas que se destacan en su gestión en el mercado foráneo, en la categoría de empresas grandes, con planes de exportación superiores a los diez millones de pesos, dos entidades merecieron el Premio por la excelencia de su gestión. Uno lo ganó CIMAB S.A., por el incremento de los resultados del año anterior en un 72 por ciento, cifra por la cual obtuvo en el 2005 el lauro en el grupo de las medianas (Cubavisión Internacional, 2007; Veloz, 2007; Terrero, 2007).

2.4. A modo de silogismo sobre los dos centros de I+D

De los dos epígrafes anteriores es justo decir que hace 20 años el gran reto era hacer viable la biotecnología silogismo moderna en Cuba. Actualmente, considerado uno de los sectores científicos más avanzados del continente, la industria biotecnológica y farmacéutica cubana pasa en el plano empresarial por alcanzar los mercados de los países altamente desarrollados, lo que validará el gran esfuerzo de estas dos décadas en las que contó con una inversión del gobierno de unos 3.000 millones de dólares (De la Osa, 2006; Rodríguez, 2006).

Del Centro Yale para el Estudio de la Globalización, Fawthrop (2004) apunta “que el modelo de la biotecnología cubana es completamente diferente al de desarrollo de productos farmacéuticos occidentales. La investigación científica pura, la innovación y desarrollo de productos, la producción y comercialización están todas integradas bajo el mismo techo, o al menos en la misma institución. En un país donde no hay hospitales privados, y todos los fármacos son de propiedad pública, inevitablemente toda inversión viene del estado”⁵.

El desarrollo científico alcanzado en esta esfera, según Lage (2007a, 2007b) no es solamente el crecimiento de la actividad científica: es el crecimiento, más las conexiones entre la Ciencia y la Sociedad. Y es este un proceso de construcción de desarrollo científico y de integración de la ciencia con la economía y el desarrollo social, esencia que permite entender por qué la ciencia y la tecnología son procesos sociales tanto por sus condicionamientos, como por sus impactos o consecuencias en la sociedad (Núñez-Jover, 1999).

Como acotación final es preciso señalar que el capital humano de ambas instituciones sobresale por la formación polifacética. Es un rasgo que nace con la concepción de estos centros científicos, denominados de ciclo cerrado, donde investigan, desarrollan tecnologías, producen y comercializan los productos. De modo que se puede hallar allí ingenieros al frente de proyectos médicos, doctores que los negocian, especialistas en ventas que disertan sobre vacunas, en fin: no hay

⁵ La traducción de la cita es de los autores de esta investigación.

otro tope al desarrollo individual que no sean el talento y la perseverancia de cada persona (Redacción Ahora, 2006; Lage, 2002).

En la entrega del Premio Nacional al Exportador 2006 en Cuba, se concedió el Premio Especial al Mejor Organismo Exportador de Productos no Tradicionales al Polo Científico de La Habana. Este organismo y todo su sistema empresarial e instituciones científicas han dado a las exportaciones de medicamentos el protagonismo que las ubica como el segundo renglón exportable del país. Las exportaciones de bienes se incrementaron el pasado año en un 35 por ciento, lo cual es el mayor crecimiento alcanzado en las últimas dos décadas por el comercio exterior cubano. Aunque este incremento ha sido apoyado por los altos precios del níquel, tiene la notoriedad de la influencia de renglones no tradicionales como los medicamentos y productos de la biotecnología que, por segundo año consecutivo, se ubican como el segundo rubro de exportación del país (Cubavisión Internacional, 2007; Veloz, 2007; Terrero, 2007).

A los efectos de la investigación, los autores resaltan un punto común que entrelaza a las tres instituciones caracterizadas en los epígrafes anteriores y es la Bioinformática como una de las líneas de investigación priorizadas por cada una de ellas.

2.5. La colaboración de la UCI en los proyectos de I+D en Bioinformática

La colaboración, como se ha reiterado, es primordial en la ejecución de emprendimientos en la Bioinformática. De ella depende la integración que se alcance en la red de actores tejida alrededor de los proyectos de investigación-desarrollo.

La UCI es, de los tres, el centro que en esta colaboración representa la parte mayoritaria en capital humano y recursos tecnológicos disponibles para el trabajo en los proyectos, como se aprecia en los Anexos 4 y 5. En general, por la universidad intervienen 236 participantes, de ellos, 11 profesores y 225 estudiantes. Y existen decenas de puestos de trabajo en cuatro laboratorios de la Facultad 6 para el desarrollo de estos siete proyectos.

Los proyectos de I+D en la UCI han sido promovidos por su Política Científica por más de tres cursos. En el sitio *Web* de la Dirección de Investigaciones (<http://investigaciones.uci.cu/news.php>), accesible en la Intranet universitaria (http://intranet.uci.cu/cgi_bin/principal.pl), están debidamente publicados los aspectos que se relacionan con la elaboración y presentación de proyectos ante el Consejo Científico de la universidad (Anexo 6) y los proyectos de este tipo aprobados por este órgano (Anexo 7).

Los autores consideran, sobre este particular, que si bien se ha promovido el desarrollo de estos proyectos y de la investigación en general en la UCI, se estimula y se reconoce poco el trabajo en este sentido. Nótese, en los resultados que se expondrán más adelante, que esta información salta a la luz. La cifra de diez proyectos aprobados, en más de tres cursos de implantada la política científica en la universidad, cuando se están realizando más de 150 proyectos de producción (ver epígrafe 2.1.3), es pobre. De los siete de Bioinformática que se analizarán, sólo dos están oficialmente aprobados por el órgano científico.

En lo adelante se caracterizará la colaboración de la UCI con los centros ya presentados, CIGB y CIM, a partir de los proyectos de I+D en los que se labora.

2.5.1. Con el CIGB

Hasta mayo de este año, según Moreno (2007a), líder científico del Grupo de Investigación en Bioinformática de la universidad, la UCI está ejecutando cuatro proyectos de I+D con el CIGB, cuyos datos se muestran en el Anexo 4. Los títulos son:

- LIMS Control de Calidad
- Servidor para alineamiento de proteínas en 3D
- Silenciamiento de Genes
- Tratamiento de Imágenes de *Microarray*

Este Grupo, como se explicó antes, pertenece a la Facultad 6 cuyo segundo perfil es la Bioinformática.

En estos proyectos, están participando por la UCI cinco profesores, uno con categoría de Profesor Instructor; cuatro son adiestrados, y 96 estudiantes, 19 de quinto año, cuyos trabajos de diploma están relacionados con las tareas que realizan en ellos. Los restantes 77 cursan el cuarto año. Los cinco investigadores del CIGB tienen el grado científico de Doctor en Ciencias.

Nótese en estos datos, que la mano de obra fundamental la constituyen los estudiantes quienes, desde el cuarto semestre de la carrera, dedican 20 horas semanales a trabajar en estos proyectos, de manera que, a la vez que se forman, investigan y producen. El puesto de trabajo de cada uno se encuentra ubicado en los laboratorios 402 y 404 de la Facultad 6. En todos los casos un estudiante cumple el rol de líder.

Salta en el análisis que los profesores participantes son muy jóvenes, sin categoría docente principal, sin grado científico. Todos son ingenieros informáticos. De aquí concluyen los autores, cuan necesaria es la superación constante, sobre todo con las variantes de formación postgraduada del Diplomado y la Maestría en Bioinformática, y hacer esfuerzos por lograr la formación de doctores en varias áreas del conocimiento.

Como parte de la formación en su segundo perfil, estos estudiantes reciben en su programa curricular cinco asignaturas obligatorias:

- Introducción a la Bioinformática
- Química orgánica
- Biología celular y molecular
- Genómica y Proteómica
- Modelos matemáticos en biología

Además de estas disciplinas comunes para toda la Facultad 6, los estudiantes de estos proyectos en cuestión, han recibido cursos optativos y capacitación en temas propios de las tareas que están realizando en ellos, fundamentalmente sobre herramientas computacionales (Moreno, 2007a).

Tres de los proyectos se encuentran en la etapa de implementación de los sistemas y uno en la de diseño. Llama la atención que todavía no se tienen resultados finales ni parciales que exponer y por tanto ninguno que haya sido introducido en el CIGB. En general, estos proyectos son complejos y han sido a muy largo plazo, lo cual provoca desmotivación y desinterés en los participantes porque el resultado práctico y su impacto se hacen muy lejanos.

Para obtener la información necesaria sobre el desarrollo de estos proyectos y la colaboración con el CIGB se realizó la observación en las áreas de labor de estudiantes y profesores, incluidos laboratorios, sesiones de predefensas y defensas de trabajos de diploma y aulas.

Se empleó, además, la entrevista a informantes claves a una muestra de siete personas, incluidos directivos de la Facultad, que arrojó información valiosa sobre el estado actual de los proyectos, la formación de los estudiantes que laboran en ellos, recursos disponibles, entre otros aspectos.

Se aplicó una encuesta (Anexo 8) a una muestra de 25 participantes de los proyectos entre estudiantes y profesores, para conocer los puntos de vista sobre el desempeño en esta labor, los recursos disponibles, los lenguajes de programación empleados, las dificultades para ejecutarlos y su opinión sobre la colaboración que se ha establecido con el CIGB.

Como resultado de la encuesta se evidenció que consideran en un 100% que la integración de la UCI con el Polo Científico del oeste de la capital favorece el desarrollo de sus proyectos de I+D en la disciplina de la Bioinformática. De aquí se

concluye, además, que es acertado continuar colaborando con estos y otros centros del Polo.

Esta muestra escogida manifestó que hay factores que inciden de manera negativa en el avance de los proyectos como puede apreciarse en la Figura 2.2. De aquí resulta que la velocidad de procesamiento en las plataformas de hardware existentes y la escasez de bibliografía especializada (en menor medida) son los dos factores de mayor impacto.

Los autores advierten en este caso, que si bien en este momento la capacidad de almacenamiento, la proporción de estudiantes por computadora y otros factores, no inciden negativamente en los proyectos (y como se verá más adelante, se consideran fortalezas de la UCI), existe opinión dividida al respecto y por tanto las autoridades administrativas y científicas que los dirigen, deberán monitorear su comportamiento en el futuro para evitar que puedan convertirse en debilidades.

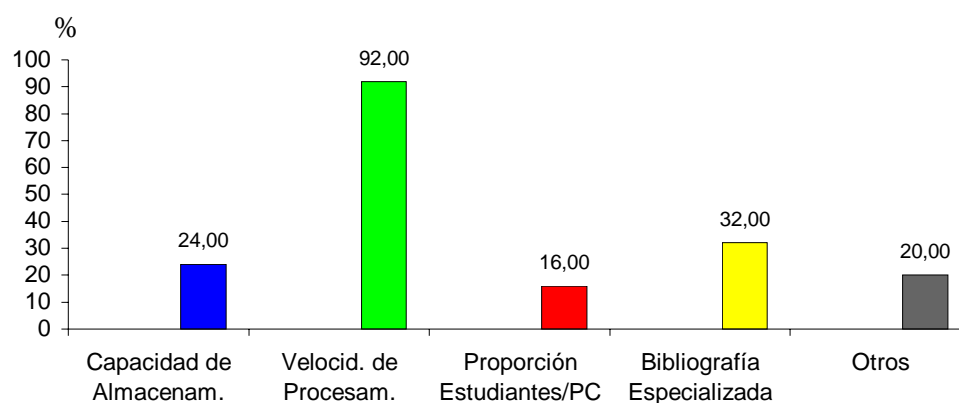


Figura 2.2. Factores que inciden de manera negativa en el avance de los proyectos de I+D entre la UCI y el CIGB.

Profundizando acerca de las plataformas de desarrollo y los lenguajes de programación que se han empleado tradicionalmente y los que deberían utilizarse, la encuesta evidenció que sigue siendo JAVA el lenguaje de preferencia ya sea solo o combinado con alguno de los lenguajes emergentes como Python, Perl, PHP, entre

otros. Nótese que es aceptada la preferencia mayoritaria sobre plataformas y lenguajes libres, tal y como apunta la tendencia mundial en Bioinformática (sólo el 8 % los rechaza).

Esto denota, a su vez, la acertada y oportuna introducción del software libre en la facultad y en estos proyectos como garantía de que los resultados estarán en armonía con lo que prevalece internacionalmente en el desarrollo de software bioinformático (Kane *et al.*, 2006; Weston, 2004; Moreno, 2007b; Leyva, 2007)

La participación de estudiantes como el recurso humano fundamental en el desarrollo de los proyectos conjuntos UCI-CIGB constituye una fortaleza como se deduce de los resultados de este instrumento con un 84% que lo considera muy favorable. De aquí, los autores interpretan que es reconocida como positiva la formación de una “informática participativa” desde los primeros semestres de la carrera, a través de proyectos reales, con rigor científico, calidad, responsabilidad ante el cumplimiento de tareas, horarios y cronogramas, repercusión social y económica de sus resultados, trabajo en equipo, especialización en una nueva disciplina que demanda capital humano calificado.

Dígase que, a la vez que se aprende se hace, y en la medida que se va haciendo, hay más que aprender. En una disciplina emergente como la que se trata, esta formación enfocada al perfil de la Bioinformática y con una participación activa en sus desarrollos, contribuye a la preparación de la masa crítica de investigadores que tanta falta hace para enfrentarla, desde el pregrado.

No obstante, los autores consideran que la participación no sólo debe ser activa sino que puede y debe ser protagónica, si el Grupo de Investigación se torna más “acometedor” en definir objetivos de trabajo y proyectos que no sólo brinden servicios, o resuelvan problemas muy específicos, sino que principalmente, prioricen el desarrollo con visión nacional e integradora o impliquen fuerte investigación, innovaciones o nuevos aportes por parte de la UCI.

Para formar recursos humanos en Bioinformática se ha experimentado con profesionales de ciencias fundamentales incluso desde los niveles de pregrado (el Grupo de Bioinformática de la UCI, tiene dos bioquímicos que hicieron sus dos últimos años de la carrera con especialización en Bioinformática en el CIGB). Como resultado de esta encuesta y por la experiencia práctica que se tiene de varios años intentando consolidar una formación de este tipo, se evidencia que los biólogos (88%), informáticos (76%), químicos (72%) y en menor medida matemáticos, cibernéticos y físicos, son los que mejor preparados están para asimilar esta formación.

De aquí se deduce que el capital humano disponible en la UCI, entiéndase Facultad 6 y estos proyectos en cuestión, formado como ingenieros informáticos en su mayoría, así como el que está en formación, y según lo expresado hasta este punto, puede y debe aportar efectivamente en tópicos básicos que son transversales a las aplicaciones bioinformáticas actuales. Éstos han recibido un notable impulso en el presente curso como temas de tesis de la Maestría en Bioinformática, por profesores de la UCI (Moreno, 2007b; Leyva, 2007; Pérez, 2007). Los temas son:

- Algoritmos para la simulación y modelación de problemas biológicos
- La seguridad de aplicaciones bioinformáticas
- La calidad en software bioinformático
- Sistemas distribuidos y tecnologías *Grid* para aplicaciones bioinformáticas

Tras cinco cursos académicos e igual tiempo de trabajo del Grupo, los autores manifiestan que la génesis de los proyectos, para lograr lo dicho en los párrafos precedentes, no puede seguir siendo sólo por libre demanda de las partes externas, iniciativa de algunos profesores-investigadores o propuestas pensadas por clientes, como se muestra en el Anexo 6.

En este asunto, ya puede haber intencionalidad por parte de la UCI para priorizar proyectos de alcance nacional, con temas de interés y necesidad para el país, e incluso para la región (véase por ejemplo, software con modelos gráficos que pueden

enfocarse desde diferentes niveles de abstracción que van desde moléculas, células y tejidos hasta organismos, poblaciones y ecosistemas (Moreno, 2007b)).

A partir de la información proporcionada por los entrevistados y encuestados, que hasta este punto se ha analizado, y la que se derivó de las preguntas abiertas 6 y 7 en el cuestionario (Anexo 8), se aplicó el análisis DAFO o FODA (proviene del acrónimo en inglés SWOT, en español las siglas son FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) (Thompson *et al.* 1998, citado por Ponce, 2006).

Como resultado de este análisis FODA se propone el diagnóstico que aparece en la matriz de la Tabla 2.1., enfocado desde la UCI.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • La capacidad de almacenamiento • La participación de estudiantes como principal fuerza de trabajo y su proporción por computadora en los laboratorios • El segundo perfil de la carrera permite preparar la cantera de bioinformáticos con que se contará en un futuro cercano pues la formación del ingeniero en ciencias informáticas (desde pregrado) facilita la reconversión • Trabajo con plataformas de software libre • Se refuerzan los conocimientos en ingeniería de software al enfrentar casos complejos • Vinculación de trabajos de diploma a los proyectos de I+D 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca experiencia de los estudiantes y profesores en análisis y diseño de software complejos • No se escriben contratos que fijen tareas, cronograma con plazos y fechas de entrega y cumplimiento y de informes parciales y finales • No se le concede la prioridad suficiente a los proyectos de I+D en comparación con otros productivos • Existen problemas con la tecnología disponible en la Facultad 6 que necesitan mejoras (velocidad de procesamiento) • Problemas de comunicación entre las partes que provocan falta de coordinación, retrasos, que las visitas y el intercambio no sea continuo y no se logran acoplar fechas de las tareas a ejecutar con disponibilidad de transporte • Equipos de trabajo impuestos • No siempre se definen objetivos concretos de trabajo
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos son reales • Aportar a la sociedad a través de 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos complejos y extensos que necesitan mucho tiempo del cliente,

proyectos de impacto en la salud humana <ul style="list-style-type: none"> • Primera edición de la Maestría en Bioinformática en Cuba • La complejidad de los proyectos permite a la UCI adquirir experiencia en enfrentar problemas de este tipo • Intercambio con investigadores del CIGB y en general del Polo Científico • Voluntad política para el desarrollo de la biotecnología y la informática • Creciente demanda y aplicación de la Bioinformática 	generalmente muy ocupado, y conducen a la pérdida de interés de profesores y estudiantes <ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos no siempre adquieren la seriedad e importancia requeridas por ambas partes • No se incluyen las tareas de estos proyectos en los planes de trabajo de los investigadores del CIGB • Resistencia al cambio por parte de investigadores del centro • El segundo perfil en el que se preparan y gradúan estos estudiantes, no garantiza necesariamente, una futura ubicación en la rama de la Bioinformática
---	---

Tabla 2.1. Diagnóstico de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas, resultante de aplicar el análisis de la Matriz FODA a la colaboración en proyectos de I+D, de la UCI con el CIGB.

2.5.2. Con el CIM

De manera similar al caso anterior, según Moreno (2007), hasta mayo de este año, el Grupo de Investigación en Bioinformática de la UCI está ejecutando tres proyectos de I+D con el CIM (Anexo 5):

- Plataforma Computacional para la simulación de sistemas biológicos (BioSyS)
- *Screening and Docking*
- Ensayos clínicos

Por la UCI están participando seis profesores, tres con categoría de Profesor Instructor y tres adiestrados. Son miembros de los equipos de desarrollo, 129 estudiantes, de ellos 26 de quinto año cuyos trabajos de diploma están relacionados con las tareas que realizan en estos proyectos. 90 son de cuarto año, 10 de tercero y tres de segundo.

Por el CIM, se integran seis investigadores, dos con el grado científico de Doctor en Ciencias y cuatro Doctores en Medicina. Obsérvese igualmente en estos datos, que la mano de obra fundamental la constituyen los estudiantes. Sus puestos de trabajo

se ubican en los laboratorios 401 y 403 de la Facultad 6. En todos los casos un estudiante cumple el rol de líder.

También llama la atención en el análisis que los profesores participantes son muy jóvenes, sin categoría docente principal, sin grado científico. Tienen diversa formación. En contraposición con el otro caso en estudio, tres de estos profesores están finalizando la primera edición de la Maestría en Bioinformática, han vencido un programa curricular de 12 disciplinas y en el período actual se encuentran en etapa de tesis. No obstante, los autores advierten que debe continuar promoviéndose y facilitándose la superación constante por todas las vías posibles.

Como se explicó en el epígrafe 2.3.1, estos estudiantes también reciben en su programa curricular las cinco asignaturas obligatorias como parte de la formación en su segundo perfil, además de cursos optativos y capacitación según el proyecto en cuestión en el que participan.

Se hace notar una de las diferencias fundamentales entre los dos casos que se estudian y es que de los tres proyectos en ejecución con el CIM ya existen resultados parciales introducidos en dos de ellos. Uno se encuentra en la etapa de implantación (BioSyS). Y otro (*Screening and Docking*), tiene implantadas dos versiones: la de escritorio (*Screening Desktop*) y la Web (*Screening Web*). Este es un paso importante en la colaboración, pues los resultados concretos motivan, despiertan interés y promueven la continuidad de los proyectos por parte de los equipos de desarrolladores.

Para obtener la información necesaria sobre el desarrollo de estos proyectos y la colaboración con el CIM se realizó la observación en las instalaciones donde laboran los estudiantes y profesores, aulas, laboratorios y sesiones de predefensas y defensas de trabajos de diploma.

Se empleó, además, la entrevista a informantes claves a una muestra de seis personas, incluidos directivos de la Facultad, que proporcionó información apreciable sobre el estado actual de los proyectos, la formación de los estudiantes que laboran en ellos, recursos disponibles, entre otros aspectos.

Se aplicó una encuesta (Anexo 9) a otra muestra de 25 participantes de los proyectos entre estudiantes y profesores, para conocer sus opiniones sobre el desempeño en esta labor, los recursos disponibles, los lenguajes de programación empleados, las dificultades para ejecutarlos y su sentir sobre la colaboración que se ha establecido con el CIM.

Los resultados obtenidos de la aplicación de estas técnicas, son análogos a los expuestos en el epígrafe anterior. Téngase en cuenta que los cuestionarios tenían cinco preguntas comunes, y dos diferentes para cada caso (CIGB o CIM). El 100% opinó que la integración de la UCI con el Polo Científico del oeste de la capital favorece el desarrollo de sus proyectos de I+D en la disciplina de la Bioinformática.

De igual forma, la velocidad de procesamiento en las plataformas de hardware existentes y la escasez de bibliografía especializada (en menor por ciento) son los dos factores de mayor impacto negativo. Los autores reiteran la advertencia sobre este caso, realizada en el epígrafe anterior.

Cabe destacar que un 64% de la muestra consideró que sigue siendo JAVA el lenguaje de preferencia ya sea solo o combinado con alguno de los lenguajes emergentes como Python, Perl, PHP, entre otros (Figura 2.3.). Igualmente, de aquí se desprende que hay dominio, conocimiento e interés por el uso y proliferación de plataformas y herramientas libres para el desarrollo de los proyectos. Ha sido acertada la política implantada en la Facultad en este orden, que como se explicó antes, se corresponde con la tendencia mundial (Kane *et al.*, 2006, Leyva, 2007).

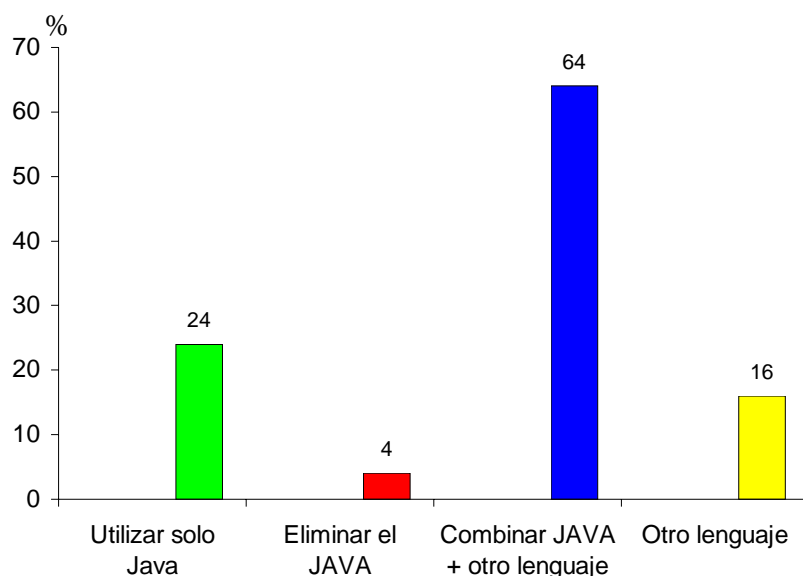


Figura 2.3. Lenguajes de programación a emplear en el programa curricular del perfil de Bioinformática, según resultados de la encuesta

El análisis de las preguntas sobre el capital humano que prevalece en estos proyectos: los estudiantes, así como la referida a la reconversión a partir de una serie de especialidades, arrojó resultados sin diferencias significativas con los obtenidos en el caso de la colaboración con el CIGB, expuesto en el epígrafe anterior. Por tanto las reflexiones y conclusiones de los autores en torno a estos temas, se corresponden con las explicadas en 2.5.1.

Lo que aporta distinción en los resultados está concentrado sobre todo, en la información proporcionada en las entrevistas y preguntas abiertas 6 y 7 de la encuesta (Anexo 9). Al aplicar el análisis DAFO o FODA (en español las siglas son FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) (Thompson *et al.* 1998, citado por Ponce, 2006) se tiene como resultado la propuesta de diagnóstico que aparece en la matriz de la Tabla 2.2, enfocada desde la UCI.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> La capacidad de almacenamiento La participación de estudiantes como 	<ul style="list-style-type: none"> La velocidad de procesamiento Las coordinaciones entre las partes no

<p>principal fuerza de trabajo y su proporción por computadora en los laboratorios</p> <ul style="list-style-type: none"> • El segundo perfil de la carrera permite preparar la cantera de bioinformáticos con que se contará en un futuro cercano • La formación del ingeniero en ciencias informáticas (desde pregrado) facilita la reconversión • Trabajo con lenguajes y plataformas de software libre, como apunta la tendencia internacional • Profesores y líderes de proyectos en permanente contacto con los estudiantes, a partir de la combinación de la docencia con la producción y el trabajo diario en los proyectos 	<p>siempre son efectivas lo que provoca retrasos y que se cancelen visitas al centro por fallas en el transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> • La universidad no concede la prioridad suficiente a los proyectos de I+D (respecto a otros de la producción) • Escasa bibliografía especializada sobre estos temas y poca capacitación en el caso de nuevas herramientas • Los equipos de trabajo son impuestos y no siempre están bien conformados, en cuanto a preparación y liderazgo • Poca motivación e interés por parte de muchos profesores y estudiantes sobre todo porque los resultados solo se ven a muy largo plazo y la docencia demanda mucho tiempo de todos • Los estudiantes ingresan a la facultad sin motivarles el segundo perfil y eso repercute luego en los proyectos
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos son reales • Se incluyen las tareas de los proyectos con la UCI en los planes de trabajo de los investigadores del CIM que participan • Aportar a la sociedad a través de proyectos de impacto en la salud humana • Primera edición de la Maestría en Bioinformática en Cuba • Voluntad política para el desarrollo de la biotecnología y la informática • Creciente demanda y aplicación de la Bioinformática • Existencia del Polo Científico del oeste de La Habana y el intercambio con sus instituciones e investigadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Lejanía de los especialistas del Polo • Insuficiente comunicación entre las partes involucradas en los proyectos • Proyectos que no están bien definidos en algunos casos y en otros son muy complejos y requieren mucho tiempo dedicado • La Bioinformática es una disciplina emergente cuyo camino está aún en construcción • El segundo perfil en el que se preparan y gradúan estos estudiantes, no garantiza necesariamente, una futura ubicación en la rama de la Bioinformática

Tabla 2.2. Diagnóstico de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas, resultante de aplicar el análisis de la Matriz FODA a la colaboración en proyectos de I+D, de la UCI con el CIM.

Los resultados plasmados en los diagnósticos de las Tablas 2.1. y 2.2., a juicio de los autores, deben ser objeto de análisis por el Grupo de Investigación de Bioinformática de la UCI, los líderes de los proyectos que se ejecutan, coordinador por el CIM y por

el CIGB y los directivos de la Facultad 6, actores todos en este escenario escudriñado, para tratar de minimizar las debilidades y el efecto de las amenazas, así como desarrollar las fortalezas y abrirse a las oportunidades, en busca de una integración sinérgica y organizada.

En este sentido, se ofrecieron consideraciones importantes por los autores en cada análisis del epígrafe 2.6.1. En el capítulo 3, se explica la aplicación de otras dos técnicas para enriquecer la investigación y sus resultados así como la propuesta final que hacen de acciones para lograr el estado deseado en la colaboración de la UCI con ambas instituciones y resolver el problema de investigación planteado. La propuesta está orientada en dos direcciones: QUÉ hacer y CÓMO hacerlo.

2.6. Recomendaciones para el desarrollo de proyectos de software en Bioinformática

Teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico de la colaboración de la UCI en proyectos de I+D, donde se produce software en Bioinformática, y considerando sobre todo las debilidades que apuntan a problemas de comunicación, falta de coordinación, desinterés, escasa motivación, equipos de trabajo impuestos y con poca preparación, se reconoce la necesidad de mejorar el proceso de desarrollo de software y contribuir a la calidad del software resultante.

Los autores de este trabajo investigaron entonces sobre prácticas de desarrollo del software en la Bioinformática. La literatura respecto a estos temas es escasa. Se consultaron varios autores y trabajos (Kane *et al.*, 2006; Weston, 2004; Kane, 2003; BIOINFOMED, 2003; Leyva, 2007) y se confrontó con los resultados de tres tesis de Maestría en Bioinformática, primeras defendidas en Cuba (Moreno, 2007b; Leyva, 2007; Pérez, 2007). Se tuvo en cuenta además la experiencia de una autora como desarrolladora de software en un centro de investigaciones agrícolas⁶.

⁶ Durante 10 años (1993-2003), uno de los autores trabajó en el Grupo de Desarrollo de Software (*INISoft*) del Laboratorio de Biotecnología del Instituto Nacional de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT) de Villa Clara.

De aquí, los autores recomiendan aspectos a tener en cuenta para desarrollar software en esta disciplina con más calidad, seguro y con alto rigor científico. A saber:

- 1- Necesidad de colaboración estrecha. En los proyectos se requieren estrechas relaciones de trabajo de al menos dos campos diferentes: la Ingeniería de Software y la Biología. La comunicación entre diversos especialistas es un reto para el éxito de los proyectos debido a las distintas formaciones, lenguaje de las ciencias, que puede entorpecer notablemente la comunicación, sobre todo por la dificultad al transmitir el conocimiento tácito de los biólogos a los desarrolladores de software.
- 2- Equipos pequeños multidisciplinarios. Los equipos de desarrollo de software bioinformático son generalmente pequeños y los proyectos requieren conocimientos casi siempre, en Biología, Medicina, Estadística e Ingeniería de Software.
- 3- Necesidad de mejorar la calidad del software en este campo, por varios motivos como: aumento de la confianza en las herramientas que se crean, necesidad de compartir y expandir el software desarrollado por otros, necesidad de mejorar la usabilidad de aplicaciones con el fin de elevar la productividad de los investigadores, entre otros.
- 4- Uso de herramientas y plataformas libres. Un resultado de la naturaleza colaborativa y la importancia del intercambio en la investigación en esta área, es el significativo número de programas libres o de código abierto existentes en este dominio, y el uso de herramientas y plataformas libres en los procesos de desarrollo (en este particular, la Facultad 6 tiene la experiencia de dos cursos).
- 5- Atención a cambios frecuentes en los requisitos. Característica común en los procesos de desarrollo de software en varios dominios, en el campo de la Bioinformática, donde el software sirve de apoyo a la actividad científica, se puede ver acentuada. La ciencia es una actividad exploratoria donde constantemente se descubren nuevas direcciones. Para los desarrolladores que elaboran software como soporte a estas investigaciones, significa tener nuevos requisitos constantemente.

CAPÍTULO 3. HACIA EL ESTADO DESEADO: INTEGRACIÓN SINÉRGICA Y ORGANIZADA. PROPUESTA DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de una breve fundamentación teórica de las técnicas cualitativas conocidas como Grupo Focal (*Focus Group*) y Análisis del Campo de Fuerzas se expondrán y analizarán los resultados de su aplicación a participantes en los proyectos de I+D que la UCI mantiene con los centros de referencia a fin de constatar la situación problemática declarada al inicio de este trabajo.

Asimismo, a partir de los resultados obtenidos, se procederá a presentar la propuesta de acciones y recomendaciones que da cumplimiento al Objetivo General de esta investigación y que pretende además, ser útil en cualquier intento de colaboración entre instituciones como las estudiadas, en el ámbito de la Bioinformática, particularmente en proyectos de I+D.

3.1. Técnicas cualitativas mediante grupos. El "Grupo Focal" y el "Análisis del Campo de Fuerzas"

Los estudios cualitativos mediante grupos permiten obtener información sobre la base de lo dicho por los participantes. En estos estudios se ayuda a que ocurran varias cosas provechosas dentro del grupo (Rodríguez-Andino *et al.*, 2007):

- Interacción: Los participantes son estimulados a participar a partir de las ideas y comentarios del resto
- Sinergia: Como resultado de la interacción en el grupo, los participantes resultan ser más creativos y reflexivos en sus comentarios
- Afinidad: Se logra una coparticipación y entendimiento que ayuda a estimular la discusión, como resultado de que el grupo comparta similitudes básicas en sus actitudes, estilos de vida, etc.
- Seguridad y Libertad: En ciertos temas que pueden ser delicados, la interacción, sinergia y afinidad, contribuyen a que los participantes se sientan en libertad de compartir ideas y opiniones que en otras circunstancias podrían ser motivo de bloqueo o inhibición

-
- Flexibilidad: Los métodos de trabajo en grupo permiten profundizar en algunos temas particulares que surjan en el transcurso de la sesión
 - Experiencia de primera mano: El investigador tiene la oportunidad de escuchar lo que los participantes piensan acerca del asunto estudiado

3.1.1. La técnica del Grupo Focal (Focus Group). Sus características

El Grupo Focal es una técnica cualitativa que consiste en 90 a 120 minutos de discusión con un grupo limitado de personas que reúnen ciertas características comunes para su selección y son guiados por un moderador quien conduce la sesión en base a una guía de moderación. Esta técnica permite a través de las discusiones y opiniones conocer cómo piensan los participantes respecto a un asunto o tema determinado (Hernández y Coello, 2002; Rodríguez-Andino *et al.*, 2007).

Este tipo de sesiones requiere de una atmósfera especial. Para ello debe crearse un ambiente físico y social que le permita al grupo relajarse y permitir de este modo que surjan de manera informal y espontánea sus percepciones, actitudes y opiniones sobre el asunto que se investiga.

El tamaño de los grupos focales puede variar desde cuatro hasta 12 personas, condicionado esencialmente por dos factores: deben ser lo suficientemente pequeños para que cada participante tenga la oportunidad de compartir ideas y aportar sus percepciones y lo suficientemente grandes para que haya riqueza de ideas pero sin que el grupo llegue a fraccionarse, pues cuando los participantes quieren hablar y no existe el espacio necesario, comienzan los comentarios y el grupo se fragmenta.

Los grupos pequeños de cuatro a seis personas tienen más oportunidad de compartir ideas y mayor posibilidad para lograr los recursos necesarios en su funcionamiento, pues pueden ser fácilmente acomodados en cualquier local de trabajo, casa

particular, centro de recreación o cualquier otro lugar en caso que el espacio sea un problema.

Esta técnica es una alternativa para la entrevista en grupo que ha tenido un gran desarrollo en la última década. Se realiza cuando el intercambio no produce contradicciones entre las personas, el tema es de interés colectivo, no inhibe las intervenciones y se selecciona un momento oportuno donde no afecten los intereses de las personas que intervienen. La entrevista debe realizarse por dos o tres investigadores que estén bien preparados en el tema a tratar y puedan estudiar profundamente los casos sobresalientes (Hernández y Coello, 2002).

Según Floría (2000) y Rodríguez-Andino *et al.* (2007) para la aplicación de la técnica del Grupo Focal se siguen varios pasos:

- Diseño de la guía de moderación que permitirá recoger la información de interés para la investigación.
- Definición de la muestra y reclutamiento: selección de la composición correcta de cada grupo e identificación de las personas adecuadas para participar en las sesiones.
- Moderación de las sesiones: uno de los elementos esenciales de la metodología del *Focus Group* es el rol que tiene que jugar el moderador. Esta persona tiene que ser un profesional que posea una experiencia para moderar sesiones de trabajo en grupo. Al guiar la discusión debe hacer que cada persona participe e interactúe con los demás sin que un participante de manera individual domine la discusión.
- Reporte: se ofrece un resumen de la sesión de trabajo del grupo, el cual incluye los comentarios de los participantes, los resultados, las conclusiones y recomendaciones.

Un beneficio que aporta la técnica del Grupo Focal a la investigación es que en la dinámica del grupo, cuando el moderador estimula a los participantes a emitir ideas sobre el asunto que se estudia, la interacción entre los mismos dará lugar a la

consideración de interesantes aspectos adicionales o identificará problemas comunes experimentados por muchas personas.

El investigador estará presente en la sesión de trabajo del grupo anotando las ideas expresadas por los participantes. De esta manera no influyen sus criterios en las opiniones de los integrantes del grupo (Rodríguez-Andino *et al.*, 2007).

3.1.2. La Técnica del Análisis del Campo de Fuerzas. Sus características

El Análisis del Campo de Fuerzas es una técnica que se utiliza para ayudar a facilitar el cambio. Esta técnica ve el cambio como fuerzas diferentes que compiten entre sí: las fuerzas impulsoras (*Driving forces*) y las fuerzas restringentes (*Restraining forces*). Para propiciar el cambio hay que ver la relación que existe entre estas dos fuerzas (Lewin, 1951, citado por 12Manage, 2007).

Esta técnica de trabajo fue creada por Kurt Lewin, psicólogo social norteamericano (de origen alemán), reconocido por sus valiosos aportes a las investigaciones sobre dinámicas y acción de grupos. Está inspirada en el mundo de la física. Un cuerpo está en una situación de equilibrio o en una situación determinada porque existe un conjunto de fuerzas o vectores que en una y en otra dirección presionan sobre él, colocándole en esas condiciones (CIMAS, 2007).

Esta realidad es trasladable al análisis de los problemas. Un problema se encuentra en una situación determinada porque existen un conjunto de fuerzas que actúan en una dirección (a favor) y otra (en contra). La técnica consiste en descubrir y cuantificar esas fuerzas en un sentido y en otro. A partir de esta descripción y cuantificación se tendrán elementos de juicio para cambiar la situación. Téngase en cuenta que el modelo es sociológico y no matemático.

Los pasos recomendados según Rodríguez-Andino *et al.* (2007) para la aplicación de esta técnica se enuncian a continuación:

-
- Definir el cambio deseado
 - Solicitar a los participantes en la sesión de grupo que expresen sus ideas sobre las fuerzas impulsoras.
 - Solicitar a los participantes en la sesión de grupo que expresen sus ideas sobre las fuerzas restringentes
 - Clasificar en orden de prioridad las fuerzas impulsoras
 - Clasificar en orden de prioridad las fuerzas restringentes
 - Enumerar las acciones a tomar.
 - Los resultados del análisis del Campo de Fuerzas:
 - Dan la oportunidad a un equipo de valorar un cambio propuesto desde ambas posiciones: a favor y en contra.
 - Se convierten en un punto de inicio para las acciones a tomar.
 - Brindan un conjunto de acciones a tomar que minimizan el impacto de las fuerzas restringentes y maximizan el efecto de las fuerzas impulsoras.

Estas fuerzas incluyen: personas, hábitos, aduanas, y actitudes. El diagrama de los campos de fuerza se puede utilizar en cualquier nivel: personal, proyecto, de organización, red, para visualizar las fuerzas que pueden trabajar en favor y en contra de las iniciativas de cambio. El diagrama ayuda a su usuario a representar la “guerra” entre las fuerzas alrededor de un tema dado (12Manage, 2007).

En la actualidad, es práctica común a nivel internacional, particularmente en organizaciones empresariales, la utilización combinada del Análisis del Campo de Fuerzas y el Grupo Focal (Castellanos, 2004; Krell, 2007; Rodríguez-Andino *et al.*, 2007) pues las características que ambas técnicas poseen hacen posible que se complementen en función de un propósito común.

3.2. Aplicación combinada de las técnicas del Grupo Focal y Análisis del Campo de Fuerzas. Valoración de los resultados

Para la aplicación de estas técnicas se definió primeramente por los autores el cambio deseado, que de acuerdo al problema de investigación consiste en:

- Fortalecer la integración de la UCI con el CIM y el CIGB en los proyectos de I+D en Bioinformática

A continuación se definió en qué consistirían las fuerzas restringentes e impulsoras:

- Las fuerzas restringentes se distinguieron como las limitaciones que pueden obstaculizar el fortalecimiento de la integración de la UCI con ambos centros en los proyectos de I+D en Bioinformática y que pueden impedir el cambio
- Las fuerzas impulsoras se consideraron como las potencialidades que se presentan para lograr el fortalecimiento de la colaboración de la UCI con ambas instituciones en el marco de los proyectos de I+D en Bioinformática y en consecuencia, favorecer el cambio deseado.

Para obtener las limitaciones y potencialidades se utilizó la técnica del Grupo Focal, en cuya aplicación se desarrollaron los siguientes pasos:

- Se confeccionó la guía de moderación, que permitió recolectar la información de interés.
- Para la selección correcta de la muestra se partió de la identificación dentro de los siete proyectos que conforman las unidades de análisis, personas con determinada experiencia y prestigio en las tareas de I+D y se creó un grupo de seis personas
- Se seleccionó un lugar apropiado que permitiera a los participantes en las sesiones sentirse cómodos y en un ambiente agradable, un salón de clases.

Los autores actuaron, uno como moderador y el otro como anotador, escribiendo en la pizarra una columna con las limitaciones y otra con las potencialidades.

Para iniciar el trabajo en el grupo el moderador le comunicó a lo participantes cuál era el cambio deseado. Luego se solicitó que se expusieran cuáles eran, a juicio de

los integrantes del grupo, las limitaciones o dificultades que se presentan para el logro pleno de la integración de la UCI con el CIM y el CIGB en los proyectos de I+D en Bioinformática y que frenan el cambio. Se hicieron varias rondas que originaron un total de 13 limitaciones.

Seguidamente, se les pidió a los presentes que señalaran las potencialidades que se presentan para el logro de una integración sinérgica y organizada entre la UCI y los centros científicos ya mencionados y que favorecen el cambio. Igualmente se hicieron varios ciclos hasta que se agotaron las propuestas. En total se obtuvieron 11 potencialidades.

Para la reducción del listado inicial de las fuerzas, el moderador aplicó el siguiente procedimiento:

- I. Se hizo un análisis entre todos los participantes y se eliminaron aquellas limitaciones o potencialidades que se consideraban repetidas.
- II. Se realizó un filtro preguntando primero por cada una de las limitaciones ¿Constituye esto realmente una limitación?, y luego por las potencialidades ¿Constituye esto realmente una potencialidad?
- III. Se formularon de una manera más adecuada cada uno de los resultados obtenidos en cada listado.

De este modo se obtuvo la reducción, con cinco potencialidades y nueve limitaciones.

Para lograr un listado contentivo de las limitaciones que mayor influencia tienen con respecto al cambio deseado se tomó el número total de ellas, nueve (9), después de la reducción, y se multiplicó por un coeficiente de ponderación, en este caso se tomó 1,5 que es el valor que sugiere el método (Lewin, 1951, citado por 12Manage, 2007 y Rodríguez-Andino *et al.* (2007).

De esta manera se obtienen 14 puntos. Los participantes distribuyeron ese valor total entre las nueve limitaciones según la opinión libre de cada persona. Así se obtiene la tabla de doble entrada del Anexo 11 de la cual se extraen las limitaciones que mayor puntuación total alcanzaron y se ubican en orden ascendente por la calificación, para tomar las cinco que más afectan el cambio. Estas constituyen las fuerzas restringentes, es decir aquellas que pueden retrasar el cambio deseado.

Este mismo procedimiento se aplicó para ordenar las potencialidades que mayor influencia pueden tener para favorecer el cambio. Después de aplicada la reducción, quedaron cinco potencialidades, este número multiplicado por el factor de ponderación 1,5 alcanzó ocho puntos. Cada participante repartió estos puntos entre las cinco potencialidades según su criterio. Los resultados fueron llevados a una tabla similar a la anterior (Anexo 12).

De la aplicación de ambas técnicas se obtuvieron los resultados siguientes:

- Las cinco limitaciones que alcanzaron mayor puntuación en orden jerárquico son:
 1. No se le concede la prioridad suficiente a los proyectos de I+D a nivel institucional en la UCI.
 2. Los proyectos no se formalizan en contratos con cronograma de ejecución y cumplimiento.
 3. Insuficiente atención al desarrollo del Grupo de Bioinformática.
 4. Escasa vida científica del Grupo de investigación.
 5. Reserva del cliente sobre los resultados a alcanzar en los proyectos (debido a que es muy reciente la inserción de la UCI en la industria cubana de software).

-
- Las cinco potencialidades que alcanzaron mayor puntuación en orden de prioridad se mencionan a continuación:
 1. Existencia de capital humano calificado en ambas direcciones que complementa la integración.
 2. Primera edición de la Maestría en Bioinformática
 3. Interés de colaboración de ambas partes
 4. Disponibilidad de recursos tecnológicos
 5. El CIM incluye en los planes de trabajo de los investigadores, las tareas de los proyectos.

Para concluir el Análisis del Campo de Fuerzas se elaboró el esquema de la Figura 3.1.

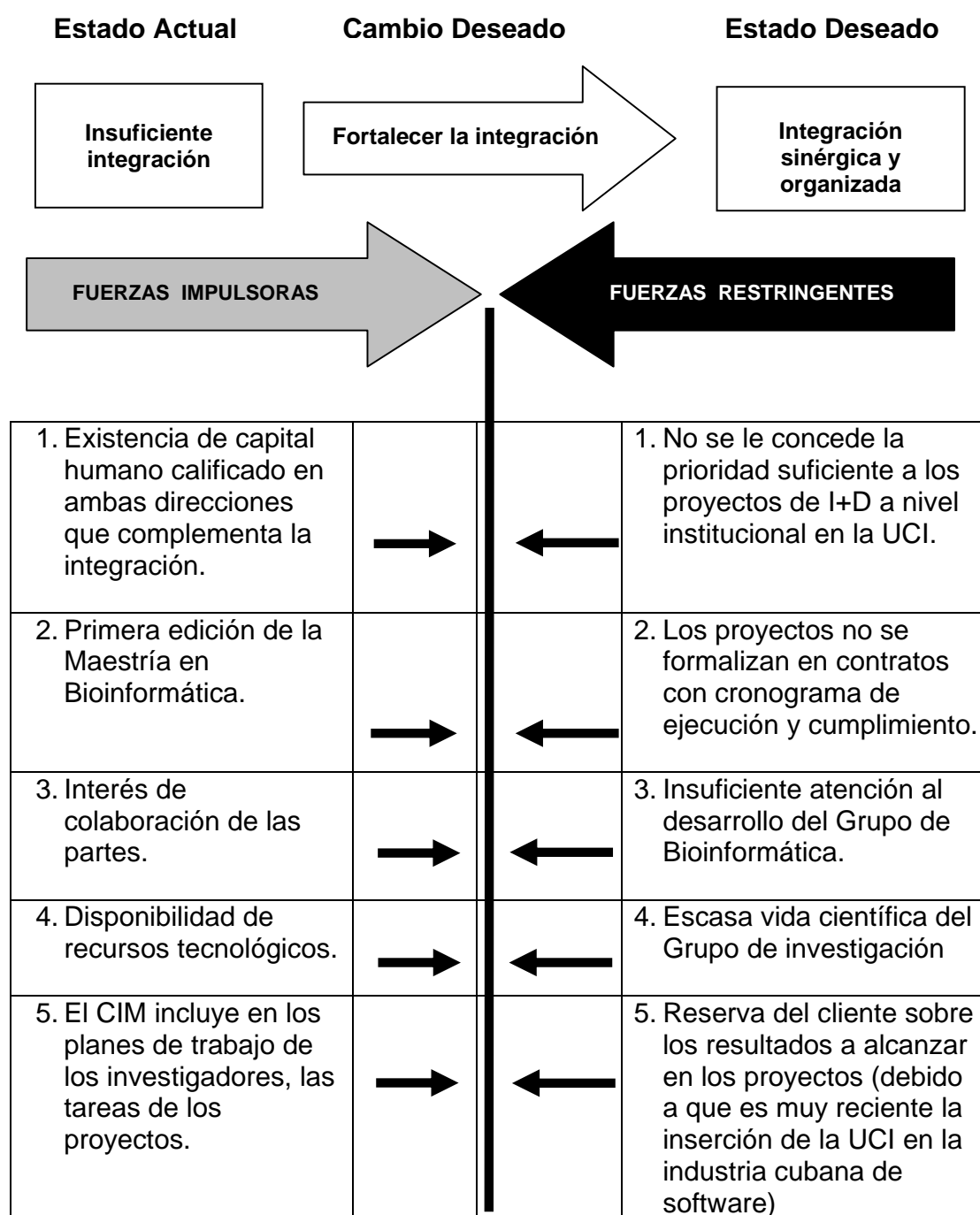


Figura 3.1. Esquema que representa el resultado del Análisis del Campo de Fuerzas con las fuerzas impulsoras y restrictivas derivadas del Grupo Focal

3.3. Propuesta de acciones para lograr una integración sinérgica y organizada en los proyectos de I+D en Bioinformática de la UCI con el CIM y el CIGB

A partir de los resultados arrojados por la aplicación combinada de las técnicas del Grupo Focal y Análisis del Campo de Fuerzas y teniendo en cuenta además los diagnósticos de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, presentados para los dos casos de la colaboración en proyectos de I+D en Bioinformática que se han investigado, se proponen acciones en función de minimizar el impacto de las fuerzas restringentes y maximizar el de las fuerzas impulsoras.

Esta propuesta se estructura en dos partes: una dirigida a establecer **qué** acciones se pueden llevar a cabo para fortalecer la integración de la UCI con ambas instituciones ($Q_1 \dots Q_{10}$), y la otra, encaminada a sugerir **cómo** materializarlas en aras de sacar el mayor provecho de aquellas ($C_1 \dots C_{10}$, donde C_1 se corresponde con Q_1 y así sucesivamente).

3.3.1. Propuesta de acciones. Parte 1. ¿Qué se puede hacer?

Q₁- La UCI está en condiciones de otorgarle mayor prioridad a la investigación científica de manera general y en particular a la Bioinformática, considerando que esta es una disciplina emergente en constante avance y con profundas implicaciones económicas, éticas, sociales y políticas. Para ello la universidad tiene a su favor los aspectos que siguen:

- Forma profesionales en un área clave para el desarrollo socio-económico del país que demanda alta calidad en la formación integral del egresado
- Cuenta con una política científica aprobada desde el curso 2003-2004 que define líneas en correspondencia con las prioridades de la ciencia cubana de hoy
- Se encuentra a punto de entregar a la sociedad la primera graduación masiva (Julio 2007) de Ingenieros en Ciencias Informáticas, luego de haber defendido sus Trabajos de diploma, que responden a problemas de investigación reales de la universidad o de otras entidades y organismos

Q₂- Los proyectos deben escribirse formalmente siguiendo una metodología establecida que incluya contratos donde se fijen tareas, cronograma con plazos y fechas de entrega y cumplimiento y se realicen informes parciales y finales.

Q₃- Las tareas de investigación de los proyectos con la UCI deben incluirse en los planes de trabajo de los investigadores del CIGB como se hace en el CIM. A su vez, el CIGB, además de tener investigadores en los proyectos, debe nombrar un coordinador único que represente al centro en las coordinaciones, intercambios, encuentros y toma de decisiones (virtuales o presenciales) respecto a los proyectos.

Q₄- En el proceso de captación de estudiantes para el ingreso a la UCI se pudiera conocer posible preferencia de los futuros estudiantes respecto a los segundos perfiles de las facultades, lo cual minimizaría la desmotivación y desinterés de los que ingresen, al enfrentarse a proyectos reales y complejos.

Q₅- El Grupo de Bioinformática necesita reorganizar e intensificar su vida científica.

Q₆- Los proyectos de producción de software bioinformático tienen características que se deben potenciar más en los que desarrolla la UCI. Díganse las siguientes:

- Necesidad de colaboración estrecha (esencia de esta investigación)
- Equipos pequeños multidisciplinarios
- Necesidad de mejorar la calidad del software
- Uso de herramientas y plataformas libres
- Atención a cambios frecuentes en los requisitos

Q₇- Incentivar la motivación y el interés por parte de estudiantes y profesores hacia el ejercicio de la Bioinformática.

Q₈- La UCI debe y puede concentrar sus esfuerzos y aportar efectivamente en tópicos básicos que son transversales a las aplicaciones bioinformáticas actuales y que han recibido un notable impulso en el presente curso como temas de tesis de la maestría en Bioinformática, cuya primera edición se desarrolló en sus instalaciones. Estos temas son:

- Algoritmos para la simulación y modelación de problemas biológicos
- La seguridad de aplicaciones Bioinformáticas
- La calidad en software bioinformático
- Sistemas distribuidos y tecnologías *Grid* para aplicaciones bioinformáticas

Q₉- Establecer colaboración con el Grupo del Álgebra de Genoma de la UCLV y el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, cuya incursión en el campo de la Bioinformática arroja resultados de impacto nacional e internacional. Esta acción propiciaría un incremento del intercambio de estudiantes y profesores con desarrolladores y líderes de otras regiones del país con producciones científicas reconocidas, y la ejecución de nuevos emprendimientos.

Q₁₀- Incrementar la divulgación social del trabajo de I+D que realiza la UCI con los centros del Polo Científico del oeste de la capital. La UCI ya ha obtenido resultados en la producción de software con ingresos millonarios, mas esto no es suficiente para que la institución gane prestigio, respeto y reconocimiento como “locomotora” de la industria cubana del software. Es necesario que la población cubana y la comunidad científica dentro y fuera de frontera, conozcan los resultados de su quehacer científico-productivo y se divulgue, no solo el aporte al crecimiento económico del país sino la dimensión social que éste tiene.

3.3.2. Propuesta de acciones. Parte 2. ¿Cómo desarrollarlas?

C₁- Para materializar esta acción se recomienda:

- Conceder al Grupo de Bioinformática una atención directa, encaminada a proporcionarle nuevos puestos de trabajo para los equipos de desarrollo de los

proyectos, un local donde puedan reunirse, intercambiar y sus miembros puedan trabajar unidos, tener intercambio constante, compartir espacios de opinión y mantener la integración “primaria” que se requiere para el buen desempeño de la colaboración con centros externos

- Crear una red nacional de conocimientos que integre a los especialistas claves (constituirían una especie de puntos nodales de la red al estilo de un *Quién es Quién*) en los diferentes dominios de investigación de esta disciplina, que permita conocer los expertos en determinadas temáticas, facilite la gestión de información y conocimiento y contribuya a fortalecer la integración en esta disciplina a nivel de país
- Que los profesores puedan dedicar uno o dos días a la semana sólo a la investigación, teniendo en cuenta que el claustro crecerá el próximo curso, y que hasta ahora, ha primado sobre todo, la voluntad y el interés de quienes lo hacen, sin que existiera total apoyo institucional
- Lograr que el financiamiento solicitado en los proyectos de I+D aprobados por el Consejo Científico de la UCI se ejecute realmente
- Incluir la participación en proyectos de I+D en el concepto de doble vinculación del Sistema de pago adicional en MN, implementado en la UCI en junio de 2007, como estímulo y reconocimiento a esta actividad vital
- Incorporar al Grupo y a los proyectos de I+D, a profesores de Ciencias Sociales y Humanísticas y Ciencias Empresariales que, motivados por el carácter multidisciplinario de la Bioinformática y su profunda repercusión socioeconómica, ética y política, faciliten la comunicación entre los miembros, contribuyan a la correcta documentación de los proyectos, participen en sus cálculos financieros, manejo de recursos humanos y tecnológicos y sobre todo, contribuyan a conectar aún más “las dos culturas”
- Instituir un Premio Anual del Rector que se entregue el Día de la Ciencia Cubana al(o los) trabajo(s) de mayor aporte científico, como en el resto de los Centros de Educación Superior (CES)
- Transitar hacia la creación de un Centro de Estudios sobre Bioinformática (según la experiencia de los CES en Cuba) cuando el actual Grupo de

investigaciones alcance la madurez necesaria, avalada por sus resultados y la capacitación de su personal

- Incrementar la colaboración con el CITMA
- Promover la participación en Programas Nacionales, Ramales y Territoriales de Ciencia y Tecnología (PNCT, PRCT, PTCT) del CITMA a través de proyectos de I+D o innovación tecnológica
- Incrementar la colaboración científica con las SUM de los territorios más cercanos (San Antonio de los Baños, La Lisa, Marianao, Boyeros, Playa, Bauta)

C₂- Formalizar los proyectos de la UCI con ambos centros según la guía metodológica aprobada en el marco de la Política Científica de la universidad, vigente desde el curso 2003-2004 (Anexo 6).

- Asimismo, se propone implementar un sistema de planificación y control de las actividades principales y resultados de los proyectos al que pueda dársele seguimiento a través del modelo que aparece en el Anexo 13

C₃- Los coordinadores de ambos centros añadirán a sus responsabilidades la de tramitar con los directivos correspondientes del CIM y el CIGB, que las tareas específicas de los proyectos se adicionen en el plan de trabajo de cada investigador para facilitar el chequeo periódico de las mismas y su cumplimiento en tiempo y forma.

C₄- La Dirección de Ingreso de la UCI coordinaría con las Comisiones Provinciales de Ingreso mientras se realiza el proceso de captación de estudiantes, para conocer si entre los interesados hay alumnos provenientes de concursos de biología, química, física, computación o matemática. Esta información permitiría, en caso del ingreso a la UCI de esos estudiantes, tener una cantera de matrícula para la Facultad 6, por su segundo perfil. Con la formación que ya traerían, se incrementaría en muchos casos, el interés y la motivación por participar en proyectos de Bioinformática (e incluso su futura preparación como líderes de proyectos).

C₅- El Grupo de Bioinformática debe reactivar la vida científica hacia su interior, fundamentalmente a través de las actividades siguientes:

- Retomar la realización de encuentros periódicos y seminarios de investigación donde se presenten los temas en que trabajan sus miembros y resultados parciales y finales
- Discusión de temas de actualidad en el campo de la Bioinformática por parte de los integrantes e invitar especialistas de otras universidades y centros de investigación
- Encauzar los esfuerzos en la investigación hacia temas transversales de alcance nacional
- Continuar promoviendo la inserción de sus integrantes en programas de maestría y doctorado
- Incrementar la colaboración internacional y mantener la actualización en tendencias mundiales en esta disciplina
- Extender la colaboración nacional hacia otras instituciones de I+D y universidades
- Mantener la participación en eventos nacionales e internacionales y lograr publicaciones de alto impacto en el *Science Citation Index* (SCI) así como en la Serie Científica de la UCI, la Revista Cubana de Ciencias Informáticas entre otras
- Continuar desarrollando anualmente el Taller de Bioinformática en el marco de las Conferencias Científicas de la UCI (UCIENCIA) como espacio habitual de intercambio nacional en esta disciplina

C₆- El Grupo de Bioinformática y los líderes de proyectos deben analizar la composición actual de sus equipos de desarrollo, de acuerdo a las características descritas en Q₆ para realizar los cambios necesarios en los casos que se requiera, de modo que repercutan directamente en la calidad del resultado final del equipo en cuestión.

C7- En función de potenciar la motivación de estudiantes y profesores en torno a la Bioinformática se recomienda lo siguiente:

- Insertar contenidos vinculados a la Bioinformática en el Programa de Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología que se imparte en el 3er año de la carrera para ir adentrando a los estudiantes en su conocimiento e importancia, con énfasis en su dimensión social. Los contenidos a incluir se ubicarían específicamente en el Bloque II del programa, denominado: *Innovación y transferencia tecnológica. Su impacto social* (Anexo 10)
- Realizar visitas planificadas a varios centros del Polo Científico del oeste de La Habana, desde el primer año, para que estudiantes y profesores constaten en la práctica sus resultados, su nivel de consagración al trabajo científico y al desarrollo económico del país que lo ha situado como primer exportador de medicamentos en América Latina; la producción de biofármacos, vacunas y otros productos que elevan la calidad de vida del pueblo, por ejemplo las vacunas que inmunizan contra 13 enfermedades a todos los niños cubanos; patentes en decenas de países; transferencia de tecnología hacia el primer mundo; ensayos clínicos de nuevos medicamentos en 15 países incluidos los E.E.U.U.; entre otros tantos aspectos destacables.
- Lograr la integración de los investigadores del Polo Científico a la formación académica mediante el programa curricular de la UCI, no sólo participando en proyectos desde “allá”, sino impartiendo asignaturas del segundo perfil al pregrado, cursos optativos y otras modalidades de capacitación. Compartiendo tiempo con estudiantes y profesores en las aulas y laboratorios de la universidad y sobre todo, compartiendo sus conocimientos y experticia y haciendo divulgación social de la ciencia que hacen sus instituciones y su impacto socioeconómico. Esto sin dudas, redundaría en despertar motivación e interés por conocer y hacer Bioinformática.
- De igual forma, en las investigaciones de esos centros, la UCI pudiera cooperar con recursos tecnológicos y humanos, sobre todo, con la participación de profesores de la UCI especialistas en diversas líneas como Reconocimiento de Patrones, Inteligencia Artificial, Procesamiento digital de imágenes y señales,

Software básico, Software libre, entre otras, en lo que podría llamarse “informática participativa” y fomentar nuevos proyectos de I+D, la inclusión de la UCI en proyectos internacionales de esos centros, crear nuevas áreas de trabajo común y lograr que la UCI no sólo brinde servicios o haga herramientas para la Bioinformática, sino que se convierta en un puntal en su desarrollo nacional.

C₈- Con la defensa de las primeras tesis de la Maestría en Bioinformática se dieron los primeros pasos para garantizar este propósito que debe ser complementado con:

- Sucesivas acciones concretas para el desarrollo de nuevas tesis de maestría y doctorados alrededor de estos temas.
- El Grupo de Investigación debe ser más “resuelto” en definir objetivos de trabajo y proyectos que no sólo brinden servicios, o solucionen problemas muy específicos, sino que principalmente, prioricen el desarrollo con visión nacional e integradora o impliquen fuerte investigación, innovaciones o nuevos aportes por parte de la UCI.
- Priorizar proyectos de alcance nacional, con estos y otros temas de interés y necesidad para el país, e incluso para la región (véase por ejemplo, software con modelos gráficos que pueden enfocarse desde diferentes niveles de abstracción que van desde moléculas, células y tejidos hasta organismos, poblaciones y ecosistemas)

C₉- Organizar un encuentro de trabajo entre líderes de proyectos de las tres instituciones, (de dos en dos) incluido todo el Grupo de Bioinformática de la UCI y estudiantes y profesores participantes de los actuales proyectos para que haya intercambio, se conozca qué están haciendo las partes, dónde se podría colaborar, y potenciales proyectos entre las instituciones. Darle continuidad a través de acuerdos del encuentro y concertar otro si se decide establecer la colaboración, ya sea con proyectos, con la formación académica de pregrado o las modalidades actuales del postgrado como diplomado y maestría. Ya la UCI contaría con un capital humano “reconvertido”, altamente calificado, pues tiene a varios de los graduados de la Maestría en Bioinformática, en su primera edición cubana.

Asimismo, se debe aprovechar la infraestructura tecnológica que tiene hoy la UCI para ponerla a disposición de las investigaciones en Bioinformática en Cuba que estén demandando procesamiento masivo de datos, vista esta capacidad tecnológica instalada como un cluster potencial (tomando en consideración las pruebas satisfactorias realizadas por el Grupo de Bioinformática de la UCI en este sentido). Esto pudiera ser otra variante de colaboración con el resto del país.

C₁₀ La divulgación social de la ciencia en el caso en cuestión, pudiera hacerse de diversas formas. Los autores proponen las siguientes:

- Aprovechar la tecnología instalada en la UCI, su estudio de televisión universitaria, sus cinco años de experiencia produciendo teleclases de todas las disciplinas con teleprofesores de la UCI y de varios centros del país, para divulgar los resultados obtenidos en los proyectos de I+D en Bioinformática. Determinadas teleclases pudieran contener breves mensajes en este sentido siempre y cuando la disciplina esté en consonancia con este tema, dígase Matemática, Física, Álgebra, Programación y Práctica Profesional. Además de cumplir el objetivo de la divulgación social de la ciencia, la teleclase tendría otro gancho y otra motivación. Este mensaje se propagaría entre estudiantes y profesores y estos a su vez lo harían con la comunidad universitaria y las voces llegarían muy lejos, recuérdese que aquí está representada toda Cuba.
- El Movimiento Código y Letra de la FEU en la UCI puede hacer trabajos con toda intencionalidad en este orden. Si bien lo ha hecho de manera espontánea, por iniciativa de sus corresponsales estudiantiles, se pudiera hacer de forma planificada y de común acuerdo con el Grupo de Bioinformática y la Dirección de Investigaciones de la UCI.
- Unir esfuerzos de la UCI, la UH, la UCLV, la UNICA, la UC, la UDG y la UO (fundamentalmente) para divulgar los resultados en esta rama a través de los telecentros provinciales, los Canales Educativos de la TV Cubana y logrando integrar estudiantes de Comunicación Social a este fin. En la UCI por ejemplo,

hay varios realizando prácticas y tesis, y se podría enfocar el concurso de sus esfuerzos en este sentido.

- Enviar contribuciones a la Revista Cubana de Ciencias Informáticas, que tiene entre sus temáticas la Bioinformática. Ya ha publicado dos números (diciembre 2006 y abril 2007) y sólo un artículo de esta disciplina (Grau *et al.*, 2006). Es una revista científica internacional del MIC, editada por la UCI, trimestral, arbitrada. Se puede consultar su primer número en las bibliotecas de todas las universidades del país y enviar los *paper* a rcci@uci.cu.
- Contactar con varios realizadores de programas de la TV Cubana como Antena y Ventana Abierta y secciones habituales como la de Economía y la de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente del Programa Buenos Días, del Sistema Informativo de la Televisión Cubana, para divulgar resultados.
- Fortalecer espacios de intercambio en la UCI, promovidos por la FEU, como Somatón y encuentros de Comunidades de desarrollo, de manera que se divulguen también ahí, los resultados del Grupo de Bioinformática cuando sus proyectos expongan.
- La UCI, de común acuerdo con los centros del Polo, BIOINFO, la UH y el InSTEC, para comenzar, pudieran crear un espacio de intercambio estable y periódico, con una versión en la capital y alternar con otra en las diferentes regiones del país para facilitar la interrelación con la comunidad Bioinformática cubana. Un taller anual (dígase Taller Nacional de Bioinformática), donde se expusieran los resultados de cada centro o grupo de investigación, se confronten los esfuerzos, proyectos y logros de todos y se tracen estrategias para continuar y avanzar. Los autores proponen, sea BIOINFO el centro encargado de coordinar, organizar y promover este espacio de intercambio nacional necesario (a nivel internacional existe el Congreso en el marco de Informática cada dos años)

3.4. Una oportunidad: primera edición en Cuba de la Maestría en Bioinformática

Para el desarrollo de la investigación, los autores consideraron como una oportunidad irrepetible la coincidencia en espacio y tiempo de este estudio con la primera edición cubana de la Maestría en Bioinformática. Teniendo en cuenta que más de una decena de profesores e investigadores de los tres centros la está cursando, que la formación-reconversión de especialistas en esta disciplina es crucial para que los proyectos se ejecuten con la calidad y rigor esperados y para que la colaboración se fortalezca en ambas direcciones, se investigó de igual forma dentro del grupo y parte de su claustro.

En este caso se enfocó la investigación a nivel de país aprovechando que el grupo está compuesto por 35 maestrantes que representan a varios centros que hoy trabajan en Bioinformática en varias provincias, para conocer su estado actual.

A través de la coordinación con el Comité Académico de la maestría se realizó observación en el aula, en varias ocasiones, en los ciclos correspondientes a las asignaturas Computación paralela y distribuida y Aprendizaje automático. Y además, durante un encuentro con el Comité Académico donde se debatieron asuntos de gran interés como los aspectos a mejorar para la segunda edición, defensas de sus tesis y sugerencias sobre temas y asignaturas impartidas en el programa curricular.

En estos encuentros se evidenció la diversidad de la formación de los especialistas que hoy están reconvirtiéndose en bioinformáticos, en esta variante de formación postgraduada, ya abordada en epígrafes anteriores como una de las más practicadas en esta disciplina emergente. Los autores constataron las necesidades de (re)formación que tienen varias ciencias que convergen en este campo (biología, bioquímica, física, informática), para enfrentar los problemas que requieren soluciones de la Bioinformática.

Para obtener información se empleó, además, la entrevista a profundidad a una muestra de siete personas, entre maestrantes y profesores. En todas las técnicas aplicadas, los participantes fueron sumamente colaborativos.

Se aplicó una encuesta (Anexo 14) a una muestra de 20 de sus estudiantes y 4 profesores (24 total), para conocer los puntos de vista de estos profesionales de diversas especialidades, provenientes de instituciones que trabajan en Bioinformática en el país.

Más del 90% de los encuestados considera que la existencia del Polo Científico del oeste de La Habana favorece el desarrollo de las investigaciones en Bioinformática en Cuba y por tanto constituye una oportunidad para el crecimiento y fortalecimiento de esta disciplina científica.

No obstante, la inmensa mayoría considera que hay factores tecnológicos que aún frenan estos desarrollos. Analizando el gráfico del Anexo 15 se aprecia que el ancho de banda en las comunicaciones (91,67%) y la velocidad de procesamiento (79,17%) son los factores que más inciden en el problema. En menor medida la capacidad de almacenamiento. En este sentido los autores alertan sobre la necesidad de mejoras en la infraestructura tecnológica en varios centros del país.

De igual forma se evidenció que la cifra ideal de instituciones que participen en un proyecto, aunque depende de su tipo y alcance, no debe ser superior a tres pues podría tornar muy complejos los mecanismos de colaboración y cooperación generando una latencia innecesaria en el avance de los mismos. También se demostró en un 95,83% que este tipo de proyecto no debe desarrollarse solamente en una universidad o en un centro de investigaciones, sino que se alcanzan resultados más fiables y rápidos siempre que los proyectos se organicen con la participación de ambos tipos de instituciones.

Hubo consenso en que los biólogos y los informáticos, en ese orden, deben ser los líderes de los proyectos de Bioinformática y en menor medida los matemáticos y los físicos, ambos a un mismo nivel. No obstante, la práctica ha demostrado que la selección del líder depende del tipo de proyecto. El hecho de que la UCI cuente con

un perfil de Bioinformática en el currículo de la carrera es una fortaleza pues prepara a los informáticos con una formación básica en esta disciplina y por lo tanto aumenta la capacidad de gerencia en estos profesionales. El Anexo 16 ilustra estos resultados.

De las respuestas ofrecidas por los entrevistados y por los encuestados en las preguntas abiertas 6 y 7 del cuestionario, se extrajeron aspectos que favorecen y dificultan el desarrollo de la Bioinformática en Cuba en la actualidad, respectivamente. A esta información se le aplicó la técnica de la matriz FODA (Thompson *et al.*, 1998, citado por Ponce, 2006), y de ahí se propone el diagnóstico del Anexo 17.

Con la aplicación de estos métodos y técnicas cualitativas y los resultados obtenidos en el estudio, los autores proponen varias recomendaciones útiles para contribuir al desarrollo de la Bioinformática en Cuba y lograr mayor integración nacional. Son las siguientes:

1. Crear una infraestructura adecuada para la dirección de sistemas regulares hacia la formación de postgrado en este campo multidisciplinario.
2. Iniciar la segunda edición cubana de la Maestría en Bioinformática en enero de 2008. Alternar la sede en cada edición, si la matrícula lo justifica, para facilitar el traslado de especialistas interesados en cursarla que sean de las provincias centrales y orientales; o aplicar la alternativa de hacer simultáneamente una versión en la capital y otra en la región central del país. Que la segunda edición incorpore más disciplinas del perfil informático, porque en la primera, el programa curricular se recargó del lado de la biología y los especialistas de la rama informática requieren más profundización en su área para desarrollar nuevas herramientas y plataformas computacionales en Bioinformática.

-
3. Poner en marcha un programa doctoral de Bioinformática que ya se aprobó en la Universidad de La Habana, desde el 2005, con el concurso de las instituciones que puedan aportar recursos organizativos.

Organizar una política integral nacional que asigne recursos por proyectos contra resultados esperados necesarios y favorezca la colaboración entre instituciones del país, aprovechando los esfuerzos y la voluntad existente entre los académicos y científicos, donde se integren los centros de la capital con otros de varias provincias con un trabajo serio y resultados en esta disciplina como el Grupo del Álgebra de Genoma de la UCLV, el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, entre otros, a través de proyectos de I+D, la formación postgraduada, espacios de debate e intercambio, publicaciones conjuntas, y otras variantes de integración.

Mejorar la infraestructura tecnológica disponible en los centros dedicados a esta disciplina, sobre todo el ancho de banda en las comunicaciones, velocidad de procesamiento y capacidad de almacenamiento.

Introducir temas básicos de la Bioinformática desde la enseñanza preuniversitaria, de manera que se propicie la motivación de los estudiantes por esta disciplina y el interés por estudiarla.

Si bien esto no está concebido en el diseño de la investigación, los autores consideraron que la oportunidad se convertía en fortaleza si se aprovechaba el contexto. Por tanto, lo tratado en este epígrafe es un aporte adicional de los autores, al esperado con este trabajo.

CONSIDERACIONES FINALES DEL TRABAJO

1. La Bioinformática es una disciplina científica de reciente aparición, cuyo campo de acción lo constituyen las tecnologías computacionales aplicadas a la investigación biológica. Por su carácter interdisciplinario demanda permanentemente de la capacitación y actualización de su personal y en tal sentido resulta esencial el desarrollo de la colaboración estrecha entre las instituciones e individuos que la practican.
2. La existencia del Polo Científico del Oeste de la Capital potencia sensiblemente el desarrollo de la Bioinformática a partir de la cantidad y calidad de los resultados investigativos y productivos que hoy se exhiben en el campo de las ciencias de la vida y en particular de la Biotecnología.
3. El vínculo universidad–sector productivo resulta un contexto ideal para fertilizar el avance de esta y otras disciplinas emergentes, pues permite complementar esfuerzos e integrar fortalezas, evitando de este modo el desfase que puede darse entre las producciones académicas y científicas de las primeras y las necesidades reales generadas por el segundo.
4. La colaboración que lleva a cabo la UCI con el CIM y el CIGB arroja un saldo favorable a pesar de las limitaciones e insuficiencias que se han constatado, lo cual debe ir sentando las bases para que la universidad emprenda y lidere en el futuro, esfuerzos más sostenidos en esta dirección, dado el potencial humano (calificado), tecnológico y logístico con que cuenta.
5. A partir de la aplicación de los métodos y técnicas cualitativas ya referidas, que constataron la existencia del problema de investigación declarado, se elaboró una propuesta que contempla no solo las acciones a emprender sino los posibles modos de concretarlas.

-
6. La implementación de la propuesta de acciones elaborada puede contribuir a fortalecer la integración en la colaboración de la UCI con el CIM y el CIGB, logrando mayor sinergia y organización en sus relaciones, con utilidad práctica además, en cualquier intento similar entre instituciones como las estudiadas, en el ámbito de la Bioinformática, particularmente en proyectos de I+D.
 7. Por último, los autores estiman que el estudio realizado hace un aporte modesto, pero útil a la construcción social de la “trayectoria tecnológica creativa” de la Bioinformática en Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano, A. (1998). "La sociología de la ciencia y técnicas en todos sus estados. Conversación con Bruno Latour", **Argumentos: Estudios Críticos de la Sociedad**. UAM-X. No. 30. Agosto de 1998. pp:117-128.
- Arellano, A. (2003). La sociología de las ciencias y de las técnicas de Bruno Latour y Michel Callon. Cuadernos digitales: publicación electrónica en Historia, Archivística y Estudios Sociales. Universidad de Costa Rica. [Consultado: 8/04/07] Disponible en: [<http://www.ts.ucr.ac.cr/~historia/cuadernos/c-23his.htm>].
- Arocena, R. y Judith Sutz. (2001a). La transformación de la universidad latinoamericana mirada desde una perspectiva CTS, en: *López Cerezo y Sánchez Ron (eds.), Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura*, Biblioteca Nueva-OEI, Madrid, 2001.
- Arocena, R. y Judith Sutz. (2001b). La Universidad Latinoamericana del Futuro. Tendencias-Escenarios-Alternativas. Colección UDUAL, Unión de Universidades de América Latina, México. [Consultado: 10/11/06] Disponible en: [<http://www.oei.es/salactsi/sutzarocena01.htm>].
- Arocena, R. & Judith Sutz. (2005). Developmental universities: a look from innovation activities. Ponencia presentada en la Conferencia GLOBELICS 2005, Sudáfrica. Comunicación personal de los autores (11/06/07). Disponible en: [<http://www.globelics2005africa.org.za/programme.php>].
- Ayús, R. (2002). Estudios sociales de ciencia y tecnología: merodeando en el campo. Sala de Lectura CTS+I. [Consultado: 7/04/07] Disponible en: [<http://www.campus-oei.org/salactsi/ramfis.htm>].
- BioBasics. (2006). Bioinformatics. En: BioBasics. The Science and the issues. [Consultado: 24/05/07] Disponible en: [<http://www.biobasics.gc.ca/english/View.asp?x=739#whatis>].
- BIOINFOMED. (2003). Synergy between Medical Informatics and Bioinformatics: Facilitating Genomic Medicine for Future Healthcare. Madrid: European Commission.
- Bioplanet. (2001). La unión hace la bioinformática, artículo en formato digital. **BIOPLANET**, mayo-junio 2001. [Consultado: 6/03/07] Disponible en:

[\[http://www.bioplanet.net/magazine/bio_mayjun_2001/bio_2001_mayjun_reportaje.htm\]](http://www.bioplanet.net/magazine/bio_mayjun_2001/bio_2001_mayjun_reportaje.htm).

Callon, M. (1988). *La Science et ses réseaux*, París, La Découverte, 1988.

Capecchi, V. y Gallina, A. (2007). "Trayectorias tecnológicas creativas y redes largas", en: *Innovaciones creativas y desarrollo humano* (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo.

Castellanos, J. (2004). Análisis del campo de fuerzas. Boletín electrónico Qualinet. Red de gestión integral y calidad. [Consultado: 10/04/07] Disponible en: [\[http://cdiserver.mba-sil.edu.pe/mbapage/cdi/BoletinesElectronicos.htm\]](http://cdiserver.mba-sil.edu.pe/mbapage/cdi/BoletinesElectronicos.htm).

Castro, F. 1960. Discurso en el acto conmemorativo del XX aniversario de la Sociedad Espeleológica en Cuba. En: Núñez Jiménez, A. 1961. *Veinte años explorando a Cuba*. La Habana, Imprenta del Instituto Nacional de la Reforma Agraria, p. 292-309.

Castro-Díaz-Balart, F. (2003). "Los parques científicos y tecnológicos. Orígenes, desarrollo y perspectivas", en: *Ciencia, Tecnología y Sociedad. Hacia un desarrollo sostenible en la Era de la Globalización*. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, p.77-114.

Castro-Díaz-Balart, F. (2004). "El papel de las Nuevas Tecnologías en el desarrollo nacional: la experiencia cubana", en: *Ciencia, Tecnología y Sociedad. Hacia un desarrollo sostenible en la Era de la Globalización*. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, p.125-126.

CIEM. (2004). Investigación del Centro de Investigaciones de la Economía Mundial sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo Humano en Cuba/2003. Ed. PNUD y Mercie Group-ENPSES, CUJAE, La Habana, 2004.

CIGB. (2003). Sitio Web del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. [Consultado: 7/04/07] Disponible en: [\[http://www.cigb.edu.cu/pages/\]](http://www.cigb.edu.cu/pages/).

CIM. (2004). Sitio Web del Centro de Inmunología Molecular [Consultado: 4/05/07] Disponible en: [\[http://www.cim.sld.cu/\]](http://www.cim.sld.cu/).

-
- CIMAS. (2007). Análisis del campo de fuerzas. En: Observatorio internacional de ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible [Consultado: 25/05/07] Disponible en: [\[http://cimas.eurosur.org/gloobal/fichas/ficha.php\]](http://cimas.eurosur.org/gloobal/fichas/ficha.php).
- Codorniú, D. (1999). Ciencia e Innovación Tecnológica en Cuba. Estado Actual y Proyecciones. IBERGECYT, 1999. Documento en formato digital.
- Cubavisión Internacional. (2007). Logra Cuba sus mayores exportaciones de los últimos 20 años. En: Sitio de Cubavisión Internacional. [Consultado: 29/04/07]. Disponible en: [\[http://www.cubavision.cubaweb.cu/detalles.asp?ID=30246\]](http://www.cubavision.cubaweb.cu/detalles.asp?ID=30246).
- Cueto, Katia y Espino, Tahimi. (2001). La bioinformática. Definiciones, proyectos y principales empresas. Consultoría BIOMUNDI, La Habana.
- De la Osa, J. (2006). Reto de la Biotecnología en Cuba: alcanzar los mercados del Primer Mundo. [Consultado: 27/04/07] Disponible en: [\[http://www.cubaminrex.cu/Mirar_Cuba/Ciencia/ct_reto%20de%20la%20biotecnologia%20en%20cuba_tc.htm\]](http://www.cubaminrex.cu/Mirar_Cuba/Ciencia/ct_reto%20de%20la%20biotecnologia%20en%20cuba_tc.htm).
- Estay, C. (2002). El proyecto de Ingeniería Informática: una declaración de intenciones. Universidad de Concepción. Chile. [Consultado: 10/04/07] Disponible en: [\[http://www.inf.udec.cl/revista/edicion3/cestay.htm\]](http://www.inf.udec.cl/revista/edicion3/cestay.htm).
- Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (1997). *University and the Global Knowledge Economy. A Triple Helix of University-Industry-Government Relations*, Pinter Publishers, Londres.
- EUDRALEX. (2007). Volume 4 - Medicinal Products for Human and Veterinary Use: Good Manufacturing Practice. En: Sitio Web de la Comisión Europea para Empresa e Industria [Consultado: 4/05/07] Disponible en: [\[http://ec.europa.eu/enterprise/pharmaceuticals/eudralex/homev4.htm\]](http://ec.europa.eu/enterprise/pharmaceuticals/eudralex/homev4.htm).
- Fava, A.R. (2001). Agora é vez dos bioinformatas. Curso inédito da Unicamp vai ajudar a suprir carência de profissionais na área. **Jornal da Unicamp**, XV(161): Abril 2001. [Consultado: 6/04/07] Disponible en: [\[http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/abril2001/pag03abril2001.htm\]](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/abril2001/pag03abril2001.htm)
- Fawthrop, T. (2004). Cuba Ailing? Not Its Biomedical Industry. In: Yale global on line (Yale Center for the Study of Globalization) [Consultado: 29/04/07] Disponible en: [\[http://yaleglobal.yale.edu/display.article?id=3193\]](http://yaleglobal.yale.edu/display.article?id=3193).
-

-
- Febles, J. P. (2007). "La bioinformática en Cuba: presente y perspectivas", en: *Innovaciones creativas y desarrollo humano* (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo, Uruguay.
- Febles, J. P. y González, A. (2002). La bioinformática una ciencia de colaboración. **Ciencia, Innovación y Desarrollo**, 7(3): 53-57.
- Febles, J.P. y Montero, L.A. (2005). Nuevas metodologías para el estudio de las funciones de las biomoléculas y sus interacciones. Bioinformática en Cuba 2005. Multidisciplinariedad en las ciencias básicas. Ponencia al Taller de Bioinformática, La Habana, 7/09/2005.
- Fernández, F; Chassagnes, O. (2003). "Políticas de innovación en Cuba: una revisión de las políticas aplicadas en el desarrollo de la industria biotecnológica asociada a la salud". **Revista CTS+I**, número 6, mayo-agosto. [Consultado: 28/5/07] Disponible en: [<http://www.campusoei/revistactsi/numero6/articulo07.htm>].
- Floría, A. (2000). "Entrevistas y Grupos Orientados". Traducido del original "Interviews and Focus Group". Centro Politécnico superior. Universidad de Zaragoza.
- García-Capote, E. (1996). "Surgimiento y evolución de la política de Ciencia y Tecnología en Cuba" (1959-1995). Seminario Taller Iberoamericano de Actualización en Gestión Tecnológica, García Capote y Faloh (eds), GECYT, La Habana.
- García-Cueva, J.L. (2002). "Tecnologías", en: Cuba: Amanecer del Tercer Milenio (Fidel Castro Díaz-Balart compilador), Editorial Debate, Madrid.
- García-Cueva, J.L. (2006). La ciencia y la técnica en la nueva universidad cubana. Conferencia impartida en el curso Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación en la Universidad, de la Maestría en Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, marzo 2006.
- García-Cueva, J.L. *et al.* (2006). "Investigación y doctorados en la universidad cubana. Reflexiones en el nuevo siglo", en: *Gestión de ciencia e innovación tecnológica en las Universidades. La experiencia cubana* (Nicolás L. Medina Basso, compilador). Editorial Félix Varela. La Habana, p. 315-340.

-
- García-Guadilla, C. (1997). "El valor de la pertinencia en las dinámicas de transformación de la educación superior en América Latina", en CRESALC/UNESCO (1997b), tomo I, 47-80.
- Gil-Morell, M. (2006). Carta del Rector de la Universidad de las Ciencias Informáticas a los visitantes al Sitio Web de la universidad [Consultado: 27/04/07] [En construcción].
- Gómez, Gloria. (2004). El vínculo Universidad-Empresa como una necesidad del desarrollo de la ciencia y la tecnología. Ponencia presentada en el Taller de Parques Tecnológicos, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, junio 2004.
- Gómez-Luna, Liliana. (2006). "Retos e iniciativas de la actividad de ciencia e innovación tecnológica en el escenario actual de la Universidad de Oriente", en: *Gestión de ciencia e innovación tecnológica en las Universidades. La experiencia cubana* (Nicolás L. Medina Basso, compilador). Editorial Félix Varela. La Habana, p. 227-247.
- González, A. y Febles, J.P. (2002). Bioinformática: algunas precisiones conceptuales. [Consultado: 1/05/07]. Disponible en:
[\[http://espejos.unesco.org.uy/simplac2002/Ponencias/ambientes%20digitales/A0086.doc\]](http://espejos.unesco.org.uy/simplac2002/Ponencias/ambientes%20digitales/A0086.doc)
- González-Arencibia, M. (2005). Selección de lecturas sobre desarrollo y subdesarrollo en el contexto latinoamericano. Material de apoyo para Maestría en Sociología. Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre. Bolivia.
- Granma Internacional. (2006). Empresa mixta Cuba-India inaugura planta biotecnológica. En: Granma Internacional Digital. [Consultado: 1/05/07]. Disponible en: [\[http://www.granma.cu/espanol/2006/abril/lun24/18bioindia.html\]](http://www.granma.cu/espanol/2006/abril/lun24/18bioindia.html).
- Grau, R. *et al.* (2006). Algunas aplicaciones de la estructura booleana del código genético. **Revista Cubana de Ciencias Informáticas**. Diciembre 2006, 1(1): 94-109.
- Grupo Coordinador de Bioinformática. (2002). Balance de la bioinformática en el Polo Científico del oeste. La Habana, Palacio de las Convenciones.
-

-
- Guigó, R. (2000a). Bioinformática ¿una ciencia sin científicos?. **Quark: Ciencia, medicina, comunicación y cultura**, ISSN 1135-8521, nº18 (2000) (Ejemplar dedicado a: Internet y genoma humano, dos revoluciones en marcha), p. 51-55.
- Guigó, R. (2000b). Bioinformática en la transición de genes y proteínas a genomas y proteomas. Boletín SEBBM nº 130 Diciembre 2000 [Consultado: 11/02/07]
Disponible en: [<http://sebbm.bq.ub.es/archiv/bol130/dossier130.pdf>].
- Harvey, M. & McMeekin, A. (2002). UK Bioinformatics. Current Landscapes and Future Horizons Executive Summary. Prepared by: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition. Commissioned by: DTI Biotechnology Directorate. March, 2002.
- Heber Biotec, SA. (2004). Sitio Web de Heber Biotec, S.A. Empresa Comercializadora de Productos Biotecnológicos y Farmacéuticos. [Consultado: 28/04/07] Disponible en: [<http://www.heber-biotec.com/default.asp>].
- Hernández, R. A. y Coello, Sayda. (2002). *El paradigma cuantitativo de la investigación científica*. Editorial Universitaria EDUNIV. La Habana. 112p.
- Herrera, L. (2003). Carta de bienvenida del Director General del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología al sitio de la institución. En Sitio Web del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. [Consultado: 7/04/07] Disponible en: [<http://www.cigb.edu.cu/pages/>].
- Herrera, L. (2007). La biotecnología cubana en la actualidad. Principales resultados del CIGB. Conferencia impartida en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el marco de su V Jornada Científica Estudiantil. La Habana, mayo de 2007.
- Howard, K. (2000). The Bioinformatics Gold Rush, Scientific American Magazine, July 2000. [Consultado: 23/05/07] Disponible en:
[http://www.sciamdigital.com/index.cfm?fa=Products.ViewIssue&ISSUEID_CHA_R=86432992-17B0-4B7B-A538-C63722AEEB7].
- Human Genome Project Information. (2005). What is the Human Genome Project? Site sponsored by the U.S. Department of Energy Office of Science, Office of Biological and Environmental Research, Human Genome Program. [Consultado: 24/05/07] Disponible en:
[http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/about.shtml].
-

-
- Kane, D. (2003). Introducing Agile Development into Bioinformatics. Documento en formato digital.
- Kane, D. *et al.* (2006). Agile methods in biomedical software development: a multi-site experience. **BMC Bioinformatics**, Vol. 7. [Consultado: 24/05/07] Disponible en: [\[http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1539031\]](http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1539031).
- Krell, H. (2007). El campo de fuerzas. En: ILVEM Argentina [Consultado: 25/05/07] Disponible en: [\[http://www.ilvem.com/shop/otraspaginas.asp?paginanp=357&t=EL-CAMPO-DE-FUERZAS.htm\]](http://www.ilvem.com/shop/otraspaginas.asp?paginanp=357&t=EL-CAMPO-DE-FUERZAS.htm).
- Lage, A. (2002). "Inmunología", en: *Cuba: Amanecer del Tercer Milenio* (Fidel Castro Díaz-Balart compilador), Editorial Debate, Madrid.
- Lage, A. (2004). La economía del conocimiento y el Socialismo: Reflexiones a partir de la experiencia de la Biotecnología Cubana. **CUBA SOCIALISTA. Revista Teórica y Política**, 2004. La Habana. [Consultado: 28/04/07] Disponible en: [\[http://www.cubasocialista.cu/texto/cs0119.htm\]](http://www.cubasocialista.cu/texto/cs0119.htm).
- Lage, A. (2007a). Biotecnología en Cuba. En: Sitio Web de la Agrupación de Profesionales del Partido Comunista de Madrid (tomado de Cubadebate). [Consultado: 1/05/07]. Disponible en: [\[http://www.profesionalespcm.org/php/MuestraArticulo2.php?id=7932\]](http://www.profesionalespcm.org/php/MuestraArticulo2.php?id=7932).
- Lage, A. (2007b). "Propiedad y expropiación en la economía del conocimiento", en: *Innovaciones creativas y desarrollo humano* (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo.
- Latour, B. & Woolgar, S. (1986). Laboratory life. The construction of scientific facts. Princeton University Press.
- Latour, B. (1989). La Science en action, trad. Franc., París, La Découverte (1ª ed. americana, 1987) p. 209.
- Latour, B. (1991), "La Tecnología es la sociedad hecha para que dure", En: DOMÉNECH, M. y TIRADO, F. Sociología Simétrica, Ensayos sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad, Barcelona: Gedisa editorial, 1998.

-
- Latour, B. (1999). Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies. Harvard University Press. [Consultado: 11/11/06] Disponible en: [\[http://sindominio.net/autonomiasituada/textos/pres/pres.html#latour99#latour99\]](http://sindominio.net/autonomiasituada/textos/pres/pres.html#latour99#latour99)
- Lavandero, J. (2007). Sistema de pago adicional en moneda nacional en la UCI. Conferencia impartida a directivos administrativos y sindicales de las áreas no docentes de la Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- Leyva, M. (2007). Propuesta de Metodología para el Desarrollo de Software Bioinformático Seguro. Tesis en opción al título de Master en Bioinformática. Defendida el 22 de junio de 2007. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana.
- López, T. (2007). Comunicación personal del asesor del Rector sobre la Universidad de las Ciencias Informáticas, UCI, en formato digital. La Habana [Consultado: 20/04/07 y 29/06/07].
- Moreno, N. (2007a). Informe sobre proyectos de bioinformática de la UCI con centros del Polo Científico del oeste de La Habana. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- Moreno, N. (2007b). BioSyS: Software para la Simulación y Análisis de Sistemas Biológicos. Tesis en opción al título de Master en Bioinformática. Defendida el 22 de junio de 2007. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana.
- Núñez-Jover, J. (1999). *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*, Editorial "Félix Varela", La Habana.
- Núñez-Jover, J. (2005). Notas sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad en Cuba. **Série Seminários de Pesquisa**. Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Economia. TD. 007/2005.
- Núñez-Jover, J., Castro-Sánchez, F., Pérez, Isarelis y Montalvo, L.F. (2007a). "Ciencia, tecnología y sociedad en Cuba: construyendo una alternativa desde la propiedad social", en: *Innovaciones creativas y desarrollo humano* (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo.
- Núñez-Jover, J., Montalvo, L.F. y Pérez, Isarelis. (2007b). "Universidad y desarrollo social basado en el conocimiento: nuevas estrategias desde lo local", en:

-
- Innovaciones creativas y desarrollo humano* (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo.
- Ondátegui, J.C. (2001). Parques científicos y tecnológicos: los nuevos espacios productivos del futuro. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, Alicante. Edición digital a partir de **Investigaciones geográficas**, nº 25 (2001), p.95-118.
[Consultado: 10/11/06] Disponible en:
[\[http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/78037396541469684165679/catalogo25/05Ondategui.pdf\]](http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/78037396541469684165679/catalogo25/05Ondategui.pdf).
- Osorio, M. (2003). Aproximaciones a la tecnología desde los enfoques en CTS. Universidad del Valle. Colombia. [Consultado: 10/04/07] Disponible en:
[\[http://www.campus-oei.org/salactsi/osorio5.htm\]](http://www.campus-oei.org/salactsi/osorio5.htm).
- Pérez, Karina. (2007). Modelo de referencia para la ingeniería de requisitos en aplicaciones Bioinformáticas. Tesis en opción al título de Master en Bioinformática. Defendida el 22 de junio de 2007. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana.
- Ponce, H. (2006). "La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales" en: **Contribuciones a la Economía**, septiembre 2006. [Consultado: 24/05/07]. Disponible en: [\[http://www.eumed.net/ce/\]](http://www.eumed.net/ce/).
- Pons, T., Montero, L.A., Febles, J.P. (2007). Bioinformatics in Cuba. An Opportunity for Science Promotion in a Developing Country. Artículo aceptado para ser publicado en una revista norteamericana. Febrero, 2007.
- Redacción Ahora. (2006). El gran descubrimiento de la Biotecnología cubana. En: Periódico Ahora digital. [Consultado: 27/04/07] Disponible en:
[\[http://www.ahora.cu/modules.php?name=News&file=article&sid=461\]](http://www.ahora.cu/modules.php?name=News&file=article&sid=461).
- Riera, Lilliam. (2006). Cuba trabaja por aplicar terapias contra el cáncer en etapas tempranas. En: Granma Internacional Digital. [Consultado: 1/05/07] Disponible en: [\[http://www.granma.cu/espanol/2006/marzo/mar28/14vacancer.html\]](http://www.granma.cu/espanol/2006/marzo/mar28/14vacancer.html).
- Rodríguez, Andrea. (2006). Lanza Cuba vacuna y cicatrizante para diabéticos. En: La voz. [Consultado: 27/04/07] Disponible en:
-

[\[http://www.azcentral.com/lavoz/spanish/latin-america/articles/latin-america163567.html\]](http://www.azcentral.com/lavoz/spanish/latin-america/articles/latin-america163567.html).

- Rodríguez-Andino, Milagros *et al.* (2007). Aplicación de las técnicas análisis del campo de fuerzas y Focus group al estudio de las limitaciones y potencialidades para la aplicación de las TIC en la Universidad de Camagüey. Artículo aceptado para publicar en una revista mexicana. Disponible en formato digital (febrero 2007).
- Schwartzman, S. (1996). América Latina: universidades en transición, OEA-INTERAMER, Washington.
- SELA [Sistema Económico Latino Americano] (1997). "La universidad como soporte fundamental del esfuerzo de competitividad empresarial de la región", en: CRESALC/UNESCO (1997b), tomo I, 241-256.
- Terrero, A. (2007). Crecimiento de las exportaciones cubanas en el 2006. Premios a los mayores exportadores. En: Sección sobre Economía del Programa Buenos Días, del Sistema Informativo de la Televisión Cubana. Emisión en vivo del día 19 de abril de 2007.
- Thompson, J. *et al.* (1998). Dirección y administración estratégicas, conceptos, casos y lecturas, "Análisis SWOT. Qué es necesario buscar para medir los puntos fuertes, débiles, las oportunidades y las amenazas de una compañía", Editorial McGraw Hill, primera edición en español, México, p. 98.
- UCI. (2007a). Sitio Web de la Universidad de las Ciencias Informáticas [Consultado: 27/04/07] [En construcción].
- UCI. (2007b). Universidad de las Ciencias Informáticas. Conferencia que se imparte a los visitantes a su llegada a la universidad. Actualización del curso 2006-2007.
- Universia. (2005). En 2006 ya se podrá estudiar bioinformática. En: Portal Universia Argentina S.A. [Consultado: 6/04/07] Disponible en: [\[http://www.universia.com.ar/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=14981\]](http://www.universia.com.ar/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=14981).
- Vargas, A. (2000). Problemas epistemológicos entre el Programa Fuerte y la Teoría de Red de Actores. Universidad de Guanajuato. México. [Consultado: 11/04/07] Disponible en: [\[http://quimica.ugto.mx/revista/5/episte.htm\]](http://quimica.ugto.mx/revista/5/episte.htm)

-
- Veloz, Marta. (2007). Premio Nacional al Exportador 2006. Lideraron las empresas del Polo Científico. En: Sitio Opciones Semanario Financiero, Comercial y Turístico de Cuba. [Consultado: 29/04/07] Disponible en: [\[http://www.opciones.cubaweb.cu/leer.asp?idnuevo=2715\]](http://www.opciones.cubaweb.cu/leer.asp?idnuevo=2715).
- Weston, P. (2004). Bioinformatics Software Engineering: Delivering Effective Applications. s.l.: Wiley, 2004. 0470857722.
- 12Manage. (2007). Análisis de las fuerzas del entorno. [Consultado: 14/06/07] Disponible en: [\[http://www.12manage.com/methods_lewin_force_field_analysis_es.html\]](http://www.12manage.com/methods_lewin_force_field_analysis_es.html).

Anexo 1

Segundo perfil por cada Facultad de estudio de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI)

Facultades	Segundo perfil
Facultad 1	Servicios del Ciudadano y Gobierno en Línea, Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones para Correos
Facultad 2	Telecomunicaciones, Seguridad Informática, Redes. Software para la Aviación y Desarrollo de Aplicaciones para Teléfonos Móviles
Facultad 3	Sistemas de Información. Sistemas para Turismo y Sistemas Jurídicos
Facultad 4	Gestión Empresarial y Banca. ERP, Servicios de Aduana y <i>Call Center</i>
Facultad 5	Realidad Virtual y Automatización
Facultad 6	Bioinformática y Equipos Médicos
Facultad 7	Software para la Salud y Procesamiento de Imágenes
Facultad 8	Software Educativo y Multimedia. Software para el Deporte y la Cultura
Facultad 9	Sistemas Industriales, Matemática Aplicada y Teleformación
Facultad 10	Software Libre, Prensa y Sistemas de Contenidos

Anexo 2

Líneas y productos principales elaborados y comercializados por el CIGB

Línea Heberfarma (Productos Farmacéuticos)

- Heberbiovac HB. Vacuna Recombinante contra las hepatitis B.
- Heberón Alfa R. Interferón Alfa 2b humano recombinante.
- Heberón Gamma R. Interferón gamma humano recombinante.
- Heberkinasa. Estreptoquinasa recombinante.
- Hebermín. Crema con Factor de Crecimiento Epidérmico recombinante.
- Hebertrans. Factor de Transferencia Humano.

Línea Heberdiag (Sistemas de Diagnóstico)

- AuBioDot. Kits diagnóstico visual para la detección de anticuerpos contra VIH 1-2, VHC y Treponema pallidum.
- HeberFast Line Embarazo. Para la detección rápida del embarazo en orina.
- HeberFast Line Rotavirus. Para la detección de rotavirus en heces fecales.

Línea Hebervet (Productos Veterinarios)

- Gavac HB. Vacuna recombinante contra garrapatas en el ganado bovino.

Línea Hebertec (Tecnología para la Bioindustria)

- Agrupa procesos tecnológicos para la producción de cuatro enzimas industriales: Renina bovina y microbiana, Dextranasa y Alfa-Amilasa.
- Además de los productos terminados, el complejo CIGB – Heber Biotec, S.A. ofrece tecnologías y proyectos conjuntos con otras empresas nacionales y extranjeras para el desarrollo tanto de nuevos productos como de los ya establecidos.

Productos para uso terapéutico

- Interferón Alfa 2b Recombinante libre de albúmina humana (formulación líquida)
- Interferón Alfa 2b Recombinante libre de albúmina humana (formulación liofilizada)
- Combinación de Interferón Alfa 2b Recombinante + Interferón Gamma Recombinante

- Interferón Alfa 2b Recombinante + Ribavirina
- Estreptoquinasa recombinante (Nueva presentación de 1.5 millones UI)
- Eritropoyetina humana recombinante
- Factor de Transferencia humano
- Factor Estimulante de Granulocitos y Monocitos

Vacunas

- Vacuna de Haemophilus influenzae tipo B (Hib)
- Vacuna duplex Hib-Hepatitis B
- Vacuna tetravalente DPT-Hepatitis B

Productos para uso agropecuario

- Nueva vacuna recombinante contra la garrapata bovina (vacuna Bm 95) Bionematicida

Productos para uso cosmético

- Cremas con Factor de Crecimiento Epidérmico humano recombinante

Sistemas de diagnóstico

- HeberFast LINE TnI (marcador de infarto agudo del miocardio)
- HeberFast LINE HBsAg (antígeno de superficie del Virus de la Hepatitis B)
- HeberFast LINE HBeAg (antígeno "e" del Virus de la Hepatitis B)
- AuBio IgM Dengue (anticuerpos totales contra los 4 serotipos de Dengue)
- HeberFast LINE anti-transglutaminasa (anticuerpos contra transglutaminasa. Diagnóstico de enfermedad celíaca)

Anexo 3

Productos del CIM y otras instituciones científicas comercializados por CIMAB S.A.

- El anticuerpo monoclonal Anti CD3, para el tratamiento de pacientes con rechazo del trasplante de órganos
- Eritropoyetina humana recombinante para el tratamiento de la anemia
- Factor Estimulante de Colonias granulocíticas para el tratamiento de la Neutropenia
- Anticuerpo monoclonal “humanizado” que reconoce el receptor del Factor de Crecimiento Epidérmico (EGF-R) para el tratamiento del cáncer
- Otros anticuerpos para el estudio *in vivo* por inmunogammagrafía de pacientes con cáncer
- Medicamentos para quimioterapia de enfermedades neoplásicas
- Además de un amplio panel de productos para la investigación *in vitro* de diferentes patologías como cáncer, SIDA y otros desórdenes del sistema inmune

Anexo 4

Proyectos de I+D que ejecuta la UCI con el CIGB, participantes y etapa de desarrollo en que se encuentran

No.	Título del Proyecto	Génesis	Líderes (total 7)	Participantes (total 106)	Estado actual
1	LIMS Control de Calidad	Demanda del CIGB	1 Profesor 1 Estudiante	86 Estudiantes 3 Profesores 1 Investigador CIGB	Análisis
2	Servidor para alineamiento de proteínas en 3D	Demanda del CIGB	1 Profesor 1 Estudiante	4 Estudiantes 1 Profesor 1 Investigador CIGB	Implementación
3	Silenciamiento de Genes	Demanda del CIGB	1 Estudiante	3 Estudiantes 0 Profesor 1 Investigador CIGB	Implementación
4	Tratamiento de Imágenes de <i>Microarray</i>	Iniciativa de la UCI	1 Profesor 1 Estudiante	3 Estudiantes 1 Profesor 2 Investigadores CIGB	Implementación

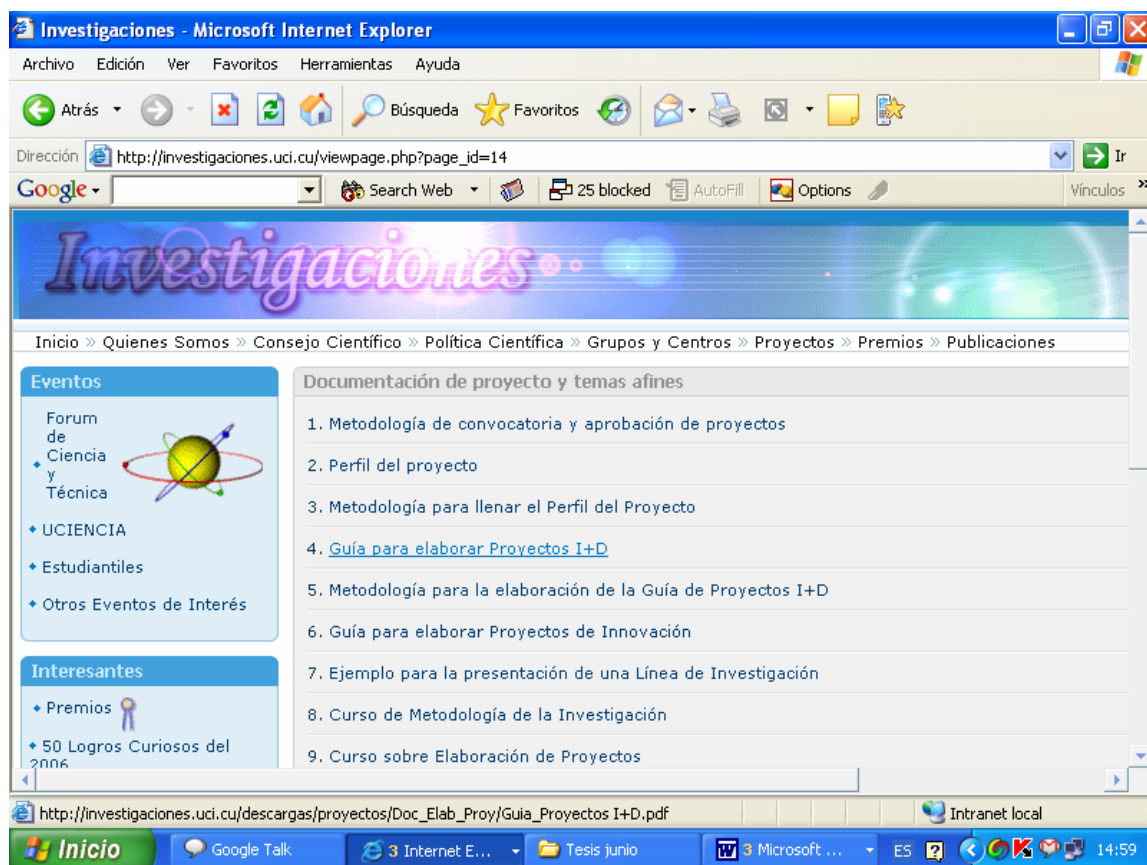
Anexo 5

Proyectos de I+D que ejecuta la UCI con el CIM, participantes y etapa de desarrollo en que se encuentran

No.	Título del Proyecto	Génesis	Líderes (total 5)	Participantes (total 141)	Estado actual
1	Plataforma Computacional para la simulación de sistemas biológicos (BioSyS)	Demanda del CIM	1 Profesor 1 Estudiante	32 Estudiantes 3 Profesores 1 Investigador CIM	Implantación
2	<i>Screening and Docking</i>	Demanda del CIM	1 Profesor 1 Estudiante	12 Estudiantes 1 Profesor 1 Investigador CIM	Implantado
3	Ensayos clínicos	Demanda del CIM	1 Estudiante	85 Estudiantes 2 Profesores 4 Investigadores CIM	Diseño

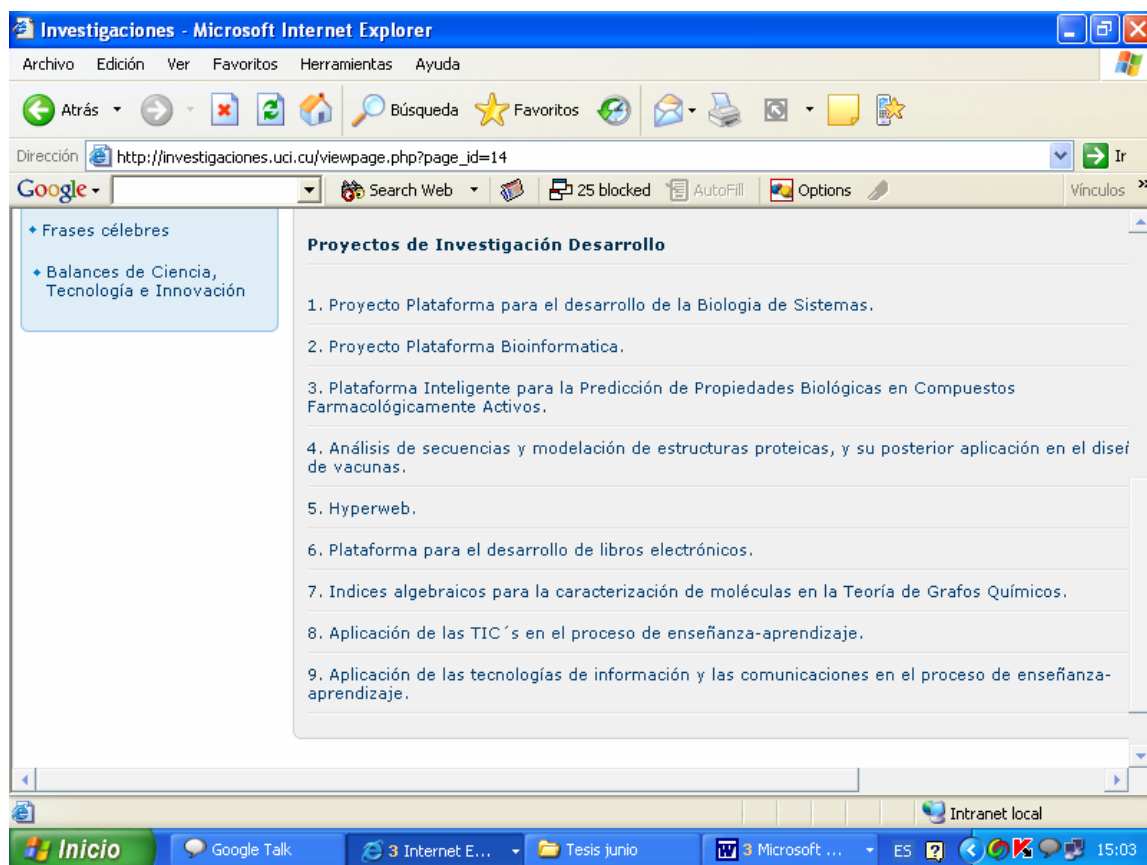
Anexo 6

Página del Sitio Web de la Dirección de Investigaciones de la UCI donde se publica la guía para escribir proyectos de I+D



Anexo 7

Página del Sitio Web de la Dirección de investigaciones de la UCI donde se publican los diez proyectos de I+D aprobados por el Consejo Científico



Anexo 8

Cuestionario 1. Factores que inciden en la colaboración de la UCI con centros del Polo Científico del oeste de la Capital en proyectos de I+D en bioinformática.

Objetivo: Recopilar información sobre los factores que inciden en el desarrollo de la colaboración de la UCI con centros del Polo Científico del oeste de la Capital en proyectos de I+D en bioinformática.

Compañero (a): *Por usted es conocido el desarrollo que está alcanzando la integración de la UCI con los centros del Polo en materia de bioinformática. Estamos realizando una investigación sobre la colaboración en este campo y en tal sentido solicitamos su cooperación para responder este cuestionario.*

1. ¿Opina usted que la integración de la UCI con el Polo Científico del oeste de La Habana favorece el desarrollo de proyectos de I+D en Bioinformática?
- Mucho _____ Parcialmente _____ No favorece _____

Fundamente brevemente su respuesta en cualquier caso:

2. Para el trabajo en los proyectos de Bioinformática de la UCI, usted considera como problema(s):
- _____ La capacidad de almacenamiento
 - _____ La velocidad de procesamiento
 - _____ La proporción estudiantes/computadora
 - _____ Bibliografía
 - _____ Otros (cuáles?)
3. En su opinión, en los proyectos de Bioinformática de la UCI y en la Facultad se debe seguir trabajando:
- _____ Sólo sobre Java
 - _____ Eliminar Java
 - _____ Combinar Java con Python, Perl, Bash, C++, C
 - _____ Otros (cuáles?)

4. ¿Considera usted que la participación de estudiantes, como principal capital humano, favorece el desarrollo de los proyectos de I+D en Bioinformática de la UCI con otros centros?

Plenamente favorable _____ Favorable _____
Parcialmente favorable _____ Desfavorable _____

Explique brevemente en cualquier caso:

5. Según su opinión, para la formación de recursos humanos en Bioinformática, ¿cuál o cuáles son las especialidades que facilitan la reconversión hacia esta disciplina?: (en caso de considerar más de una, ordenar jerárquicamente)
- _____ Matemática
 - _____ Física
 - _____ Química
 - _____ Biología
 - _____ Informática
 - _____ Ciencia de la Computación
6. Señale, según su opinión, cuatro (4) aspectos que favorecen el desarrollo de los proyectos de I+D en Bioinformática de la UCI con el **CIGB** (ordenados jerárquicamente):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
7. Señale cuatro (4) aspectos que dificultan el desarrollo de estos proyectos de la UCI con el **CIGB** (en orden jerárquico):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.

Gracias por su tiempo y colaboración

Anexo 9

Cuestionario 1. Factores que inciden en la colaboración de la UCI con centros del Polo Científico del oeste de la Capital en proyectos de I+D en bioinformática.

Objetivo: Recopilar información sobre los factores que inciden en el desarrollo de la colaboración de la UCI con centros del Polo Científico del oeste de la Capital en proyectos de I+D en bioinformática.

Compañero (a): *Por usted es conocido el desarrollo que está alcanzando la integración de la UCI con los centros del Polo en materia de bioinformática. Estamos realizando una investigación sobre la colaboración en este campo y en tal sentido solicitamos su cooperación para responder este cuestionario.*

1. ¿Opina usted que la integración de la UCI con el Polo Científico del oeste de La Habana favorece el desarrollo de proyectos de I+D en Bioinformática?
- Mucho _____ Parcialmente _____ No favorece _____

Fundamente brevemente su respuesta en cualquier caso:

2. Para el trabajo en los proyectos de Bioinformática de la UCI, usted considera como problema(s):
- _____ La capacidad de almacenamiento
 - _____ La velocidad de procesamiento
 - _____ La proporción estudiantes/computadora
 - _____ Bibliografía
 - _____ Otros (cuáles?)
3. En su opinión, en los proyectos de Bioinformática de la UCI y en la Facultad se debe seguir trabajando:
- _____ Sólo sobre Java
 - _____ Eliminar Java
 - _____ Combinar Java con Python, Perl, Bash, C++, C
 - _____ Otros (cuáles?)
4. ¿Considera usted que la participación de estudiantes, como principal capital humano, favorece el desarrollo de los proyectos de I+D en Bioinformática de la UCI con otros centros?

Plenamente favorable _____ Favorable _____
Parcialmente favorable _____ Desfavorable _____

Explique brevemente en cualquier caso:

5. Según su opinión, para la formación de recursos humanos en Bioinformática, ¿cuál o cuáles son las especialidades que facilitan la reconversión hacia esta disciplina?: (en caso de considerar más de una, ordenar jerárquicamente)
- _____ Matemática
 - _____ Física
 - _____ Química
 - _____ Biología
 - _____ Informática
 - _____ Ciencia de la Computación
6. Mencione, según su parecer, cuatro (4) aspectos que favorecen el desarrollo de los proyectos de I+D en Bioinformática de la UCI con el **CIM** (ordenados jerárquicamente):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
7. Mencione cuatro (4) aspectos que dificultan el desarrollo de estos proyectos de la UCI con el **CIM** (en orden jerárquico):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.

Gracias por su tiempo y colaboración

Anexo 10

Propuesta de adecuación del programa de la asignatura Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología en la Facultad 6

BLOQUE II: INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA. SU IMPACTO SOCIAL (20 horas)

Objetivo del bloque: Valorar los condicionamientos socio-económicos y resultados del cambio tecnológico.

(Los contenidos asociados a la Bioinformática se insertarían inmediatamente después de la conferencia 5. *Vínculo universidad-empresa a través de los parques tecnológicos*)

La propuesta en cuestión es la siguiente:

Conferencia: La Bioinformática. Una disciplina de colaboración. Papel del vínculo Universidad-sector productivo en su desarrollo.

Objetivo: Explicar el surgimiento y desarrollo de la Bioinformática desde un enfoque interdisciplinar como el resultado integrado del desarrollo alcanzado en las ciencias de la vida y las tecnologías de comunicación.

Contenidos:

- La Bioinformática, breve historia de su surgimiento y evolución. Definición y dominios fundamentales de investigación.
- Papel del vínculo universidad- sector productivo en su desarrollo
- Interdisciplinariedad, colaboración y formación de recursos humanos.

Conferencia: La Bioinformática en Cuba. Presente y futuro

Objetivo: Explicar el desarrollo de la Bioinformática en Cuba y su influencia en el desarrollo socio-económico nacional.

Contenidos:

- Fortalezas que permiten la introducción de la Bioinformática en Cuba. El desarrollo de la Biotecnología.
- Principales frentes de trabajo y temas de investigación
- Instituciones involucradas en el desarrollo de la bioinformática
- Formación de recursos humanos.

Seminario: Impacto social de la Bioinformática en Cuba y el mundo.

Objetivo: Valorar el impacto social de la Bioinformática a partir de los resultados que en este campo se han obtenido a nivel nacional e internacional.

Contenidos:

- Las ciencias de la vida y las tecnologías de la información antes y después de la Bioinformática.
- Principales proyectos de Investigación a nivel internacional. Resultados palpables.
- Papel de la Bioinformática en los logros de la Biotecnología cubana.

Bibliografía (Para las tres actividades):

Bioplanet. (2001). La unión hace la bioinformática, artículo en formato digital.

Disponible en: [www.bioplanet.net].

Cueto, Katia y Espino, Tahimi. (2001). La bioinformática. Definiciones, proyectos y principales empresas. Consultoría BIOMUNDI, La Habana.

Febles, J. P. (2007). “La bioinformática en Cuba: presente y perspectivas”, en: Innovaciones creativas y desarrollo humano (Andrea Gallina, Jorge Núñez-Jover, Vittorio Capecchi y Luis Félix Montalvo Arriete compiladores), Proyecto ALFA-Lentisco, Ediciones Trilce, Montevideo, Uruguay.

Febles, J. P. y González, A. (2002). La bioinformática una ciencia de colaboración.

Ciencia, Innovación y desarrollo, 7(3): 53-57.

Lage, A. (2007). Biotecnología en Cuba. En: Sitio Web de la Agrupación de Profesionales del Partido Comunista de Madrid (tomado de Cubadebate).

Disponible en:

[\[http://www.profesionalespcm.org/_php/MuestraArticulo2.php?id=7932\]](http://www.profesionalespcm.org/_php/MuestraArticulo2.php?id=7932)

Pons, T., Montero, L.A., Febles, J.P. and Bourne, P. (2007). Bioinformatics in Cuba. An Opportunity for Science Promotion in a Developing Country. Artículo en formato digital aceptado para su publicación en una revista norteamericana (febrero 2007).

Anexo 11

Tabla de doble entrada con la votación resultante de la combinación del Grupo Focal y el Campo de Fuerzas para determinar Fuerzas Restrictivas en la colaboración UCI-CIM y UCI-CIGB en proyectos de I+D en bioinformática

F. RESTRINGENTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
PARTICIPANTES										
A	2	2	2	2	2	1	1	1	1	14
B	1	2	2	3	2	1	1	1	1	14
C	2	1	2	3	2	1	1	1	1	14
D	0	1	4	1	4	1	1	1	1	14
E	2	1	1	3	3	2	1	1	0	14
F	1	6	1	1	2	1	0	2	0	14
TOTAL	8	13	12	12	15	7	5	7	4	-

Anexo 12

Tabla de doble entrada con la votación resultante de la combinación del Grupo Focal y el Campo de Fuerzas para determinar Fuerzas Impulsoras en la colaboración UCI-CIM y UCI-CIGB en proyectos de I+D en bioinformática

F. IMPULSORAS	1	2	3	4	5	TOTAL
PARTICIPANTES						
A	2	2	2	1	1	8
B	2	1	2	1	2	8
C	2	2	2	1	1	8
D	1	2	3	1	1	8
E	2	3	1	1	1	8
F	3	1	2	0	2	8
TOTAL	12	11	12	5	8	

Anexo 13

Modelo para la planificación y control de las actividades principales y resultados en los proyectos de I+D

PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LAS ACTIVIDADES PRINCIPALES Y RESULTADOS					
Título del proyecto:					
Institución principal:					
Instituciones participantes:					
Resultados Planificados	Entidades Participantes	Actividades Principales	Fecha Inicio	Fecha Término	Indicadores verificables

Anexo 14

Cuestionario 2. Factores que inciden en el desarrollo de la bioinformática en Cuba.

Objetivo: Recopilar información sobre los factores que inciden en el desarrollo de la bioinformática en Cuba.

Compañero (a): *Por usted es conocido el desarrollo ascendente que actualmente está adquiriendo la bioinformática en nuestro país. Estamos realizando una investigación sobre la colaboración en este campo y en tal sentido solicitamos su cooperación para responder este cuestionario.*

1. ¿Opina usted que la existencia del Polo Científico del oeste de La Habana favorece el desarrollo de la bioinformática en Cuba?
Mucho _____ Parcialmente _____ No favorece _____

Fundamente su respuesta en cualquier caso:

2. Para el trabajo en el campo de la bioinformática en Cuba, usted considera como problema(s):

_____ La capacidad de almacenamiento
_____ La velocidad de procesamiento
_____ El ancho de banda
_____ Otros (¿Cuáles?)

3. En su opinión, los proyectos en esta disciplina se deben organizar:

_____ Entre centros de investigación
_____ Entre universidades
_____ Entre ambos tipos de centros
_____ Otra variante (¿Cuál?)

4. Según su consideración, la cifra ideal de instituciones que colaboren en un proyecto de bioinformática debe ser: (Marque con una X)

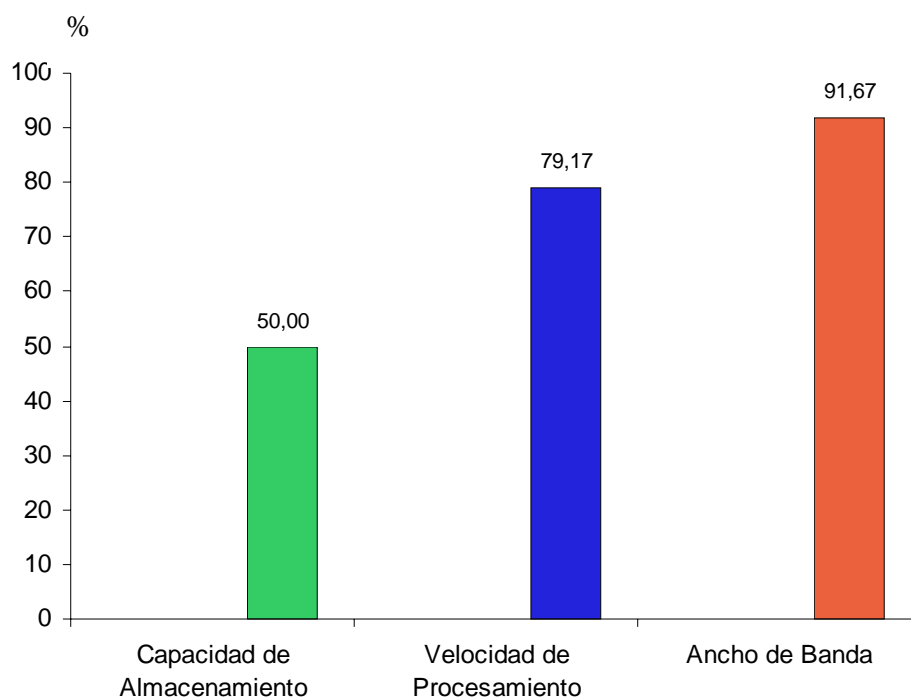
Dos _____ Tres _____ Cuatro _____ Más (¿Cuántas?) _____

5. Los líderes de estos proyectos, a su juicio, deben ser: (Si considera que debe más de uno, ordene jerárquicamente)
- _____ Matemáticos
 - _____ Físicos
 - _____ Químicos
 - _____ Biólogos
 - _____ Informáticos
6. Mencione, según su parecer, cinco (5) aspectos que favorecen el desarrollo de la bioinformática en Cuba (ordenados jerárquicamente):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
 - 5.
7. Señale, según su opinión, cinco (5) aspectos que dificultan el desarrollo de la bioinformática en Cuba (ordenados jerárquicamente):
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
 - 5.

Muchas Gracias por su tiempo y colaboración

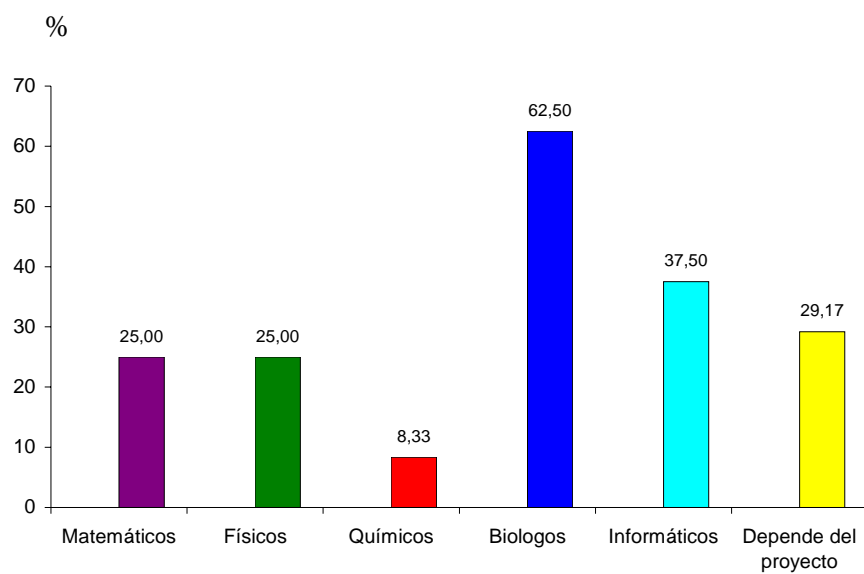
Anexo 15

Factores tecnológicos que frenan el desarrollo de la bioinformática hoy en Cuba, según resultados de la encuesta aplicada al grupo de la primera maestría en esta disciplina que se hace en el país



Anexo 16

Profesionales que deben gerenciar los proyectos de bioinformática en Cuba, según opiniones de los maestrantes y profesores encuestados de la primera maestría en esta disciplina que se hace en el país



Anexo 18

Diagnóstico de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas, resultante de aplicar el análisis de la Matriz FODA al desarrollo de la Bioinformática en Cuba hoy, según estudiantes y profesores del primer grupo de la Maestría en esta disciplina en el país

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none">• Preparación de los recursos humanos sobre todo en ciencias particulares como matemática, biología, física, química e informática• Colaboración entre instituciones académicas y científico-productivas, que no compiten entre sí• Investigadores del Polo Científico del oeste de La Habana con experiencia en este campo y que desarrollan proyectos importantes•	<ul style="list-style-type: none">• Incipiente desarrollo de la disciplina en el país, en general• No todas las instituciones cubanas que trabajan en bioinformática, tienen acceso a Internet•
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none">• Voluntad política del país de potenciar el desarrollo de esta disciplina• Desarrollo de la biotecnología y del Sistema nacional de salud que permite aplicar los resultados científicos en el país• Existencia del Polo Científico del oeste de La Habana y otros centros de investigación• Impacto económico, social, ético y político de las investigaciones en bioinformática• Primera edición de la Maestría en Bioinformática• Creciente demanda y aplicación de la bioinformática y la informática• Estrategia de informatización de la sociedad y de formación de profesionales en ciencias de la computación y la informática• Existencia del Centro Nacional de Bioinformática para coordinar, organizar u controlar así como aunar esfuerzos	<ul style="list-style-type: none">•

-
- Congreso Internacional de Bioinformática cada dos años en la Convención de Informática
 - Existencia de una Facultad de la UCI con especialización en Bioinformática como segundo perfil
-

Glosario:

Algoritmo: (<i>algorithm</i>)	Secuencia de pasos que conforman una tarea específica, usualmente en el ámbito computacional.
Backbone:	Enlace de gran caudal o una serie de nudos de conexión que forman un eje de conexión principal. Es la columna vertebral de una red.
Biochip:	Uno de los primeros términos empleados para referirse a las micromatrices de material biológico. En la actualidad este término se emplea para referirse a los chips fabricados con la tecnología de posicionamiento electrónico de la empresa <i>Nanogen</i>
Cluster de computadoras: (<i>computer cluster</i>):	Un grupo de computadoras interconectadas que funcionan como una unidad de alto rendimiento.
Estación de trabajo: (<i>workstation</i>)	Cualquier computadora, generalmente conectada a una red, que se usa para llevar a cabo tareas específicas de cálculo o cualquier otro tipo de procesamiento de la información
Estructura tridimensional: (<i>tridimensional structure</i>)	La disposición espacial de los elementos estructurales que forman parte de las biomoléculas, la cual determina intrínsecamente su función biológica
Filogenética:	La rama de la biología que se ocupa de descubrir las líneas de origen o filogenias de los organismos, a fin de construir las relaciones antepasado-descendientes entre los grupos de organismos vivos y extinguidos.
Gen: (<i>gene</i>)	La unidad de información genética en un organismo vivo
Genoma: (<i>genome</i>)	El total de la información genética de un organismo o entidad biológica, dado en la forma de secuencias de ADN (excepto en algunos virus cuyo genoma está constituido por ARN).
Genómica: (<i>genomics</i>)	Rama de la biología que se dedica al estudio del genoma, incluyendo los métodos y técnicas

específicas que se usan con este objetivo.

Java: lenguaje de programación diseñado por Sun Microsystems en 1995 especialmente para usar en el entorno de computación distribuida de Internet

Joint-venture: Asociación de empresas; emprendimiento conjunto. Dos empresas independientes se unen (en capital y riesgo) para realizar un proyecto entre las dos. Ambas mantienen su independencia en todo lo demás.

Know-how: Conocimientos desarrollados por una organización o sociedad como consecuencia del aprendizaje y de la experiencia adquiridos y que son la clave de su éxito.

LIMS: Sistemas de Gestión de la Información de Laboratorio
(*Laboratory Information Management Systems.*)

Nucleótido: Compuesto formado por una base nitrogenada enlazada covalentemente a una pentosa fosforilada (nucleotide) en uno de sus residuos hidroxilo. Cinco nucleótidos son los monómeros que mayormente forman las cadenas polinucleotídicas de los ácidos nucleicos, formados por las bases nitrogenadas adenina (A), timina (T), citosina (C), guanina (G) y uracilo (U), respectivamente.

Patrón: Descriptor de un motivo. Un patrón es una (pattern) representación abreviada de la secuencia consenso de un motivo. Los patrones, también conocidos como expresiones regulares, se han utilizado para la identificación de motivos en el análisis de secuencias.

Proteoma: El conjunto de proteínas que se están expresando (proteome) en un momento dado, en una célula, tejido u organismo.

Proteómica: Rama de la biología que se dedica al estudio del (proteomics) proteoma, incluyendo los métodos y técnicas específicas que se usan con este objetivo.

Tecnología de micromatrices o microarreglos: Una nueva manera de estudiar cómo interactúan (Microarray) entre sí un gran número de genes y como las redes regulatorias de la célula controlan enormes baterías de genes simultáneamente.