

*Bioinformatics in Cuba: An approach from the first national Master Degree edition in this field*

**Delly Lien González Hernández<sup>1</sup> Vero Edilio Rodríguez Orrego<sup>1</sup> Juan Pedro Febles Rodríguez<sup>2</sup> Héctor Rodríguez Figueredo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI). [delly\\_vero](mailto:delly_vero@uci.cu), [hector@uci.cu](mailto:hector@uci.cu)

<sup>2</sup>Centro Nacional de Bioinformática (BIOINFO). [febles@instec.cu](mailto:febles@instec.cu)

**Resumen**

En el presente trabajo se expone un diagnóstico aproximado sobre el estado actual de la Bioinformática en Cuba y se proponen recomendaciones para favorecer la integración más efectiva entre las instituciones cubanas, académicas y de Investigación-Desarrollo, que incluyen esta disciplina emergente entre sus líneas científicas. La realización de la primera edición de la Maestría en Bioinformática en el país, fue el escenario propicio para aplicar métodos y técnicas cualitativas de investigación entre los estudiantes y profesores de este primer grupo y su Comité Académico. A partir de estas contribuciones se elaboró el diagnóstico con las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que enfrenta este joven campo de estudios en frontera. Según lo arrojado por este análisis, se construyó la propuesta de recomendaciones para contribuir, en lo posible, al fortalecimiento de la integración de centros que en el país apuestan hoy por esta disciplina y la pertinencia de sus resultados.

**Palabras clave:** bioinformática, disciplina emergente, instituciones de I+D, integración, universidad

**Abstract**

*This paper shows an approximate diagnosis about the current situation of Bioinformatics in Cuba and also proposes some recommendations to favor a more effective integration among academic and Research & Development Cuban institutions that include this emergent field of study among their scientific lines. The first edition in the country of the Master's degree studies in Bioinformatics was the right moment to apply qualitative research methods and techniques among students and teachers of this first group and its Academic Committee. Taking as starting point the previous contributions the diagnose was elaborated with the strengths, opportunities, weaknesses and threats that this young field of study in frontier faces. According to the results taken from the analysis, the proposal of recommendations was made to contribute, as far as possible, to strengthen the integration among institutions in the country that have their future hopes in this field of study and in its results' pertinence.*

**Key words:** bioinformatics, emergent field, R&D institution, integration, university

## Introducción

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 Humano<sup>1</sup>, una disciplina que se ubica en la intersección entre las ciencias de la vida y las TIC: la Bioinformática (Cueto y Espino, 2001).

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 (Guigó, 2000; Fava, 2001; Harvey & McMeekin, 2002; Febles y González, 2002; Febles y Montero, 2005; BioBasics, 2006; Febles, 2007; Pons *et al.*, 2007). En tal sentido se acepta, por ejemplo, la siguiente:

“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).”

Según 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 (acrónimo referido al campo de estudios sociales de la ciencia y la tecnología), 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 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.

---

<sup>1</sup> 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).

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, como la biología -particularmente la molecular-, la genética o la bioquímica, 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.

Según 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 y se resuelve de acuerdo a las peculiaridades de cada contexto pero, la vía fundamental es la reconversión en la formación de postgrado mediante 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).

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 de desarrollo de medicamentos y otros productos novedosos que permitan colocar las producciones biotecnológicas 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 y según varios reportes (Febles y Montero, 2005; Núñez-Jover, 2005; Febles, 2007) si bien se aprecian sostenidos avances en la Bioinformática en Cuba, hoy existen limitaciones que lastran los esfuerzos de integración. Entre ellos, díganse los siguientes:

- 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 postgrado 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.

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 presente trabajo tiene como objetivo, conocer, en un acercamiento a través del grupo de la primera edición de la Maestría cubana en Bioinformática, el estado actual de esta joven disciplina en el país.

### **Materiales y Métodos**

Este trabajo se desarrolló en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), durante el segundo semestre del curso 2006-2007 aprovechando la oportunidad de que en su campus se realizaba la primera edición cubana de la Maestría en Bioinformática.

La investigación se enfocó a nivel de país teniendo en cuenta que el grupo está compuesto por 35 maestrantes y un claustro que representan a centros que hoy trabajan en Bioinformática en varias provincias.

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 se hizo 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 anteriormente 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 a una muestra de 20 de sus estudiantes y cuatro profesores (24 en total), para conocer los puntos de vista de estos profesionales de diversas especialidades, provenientes de instituciones que trabajan en Bioinformática y lograr un acercamiento al estado actual de este campo 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 de la Figura 1 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.

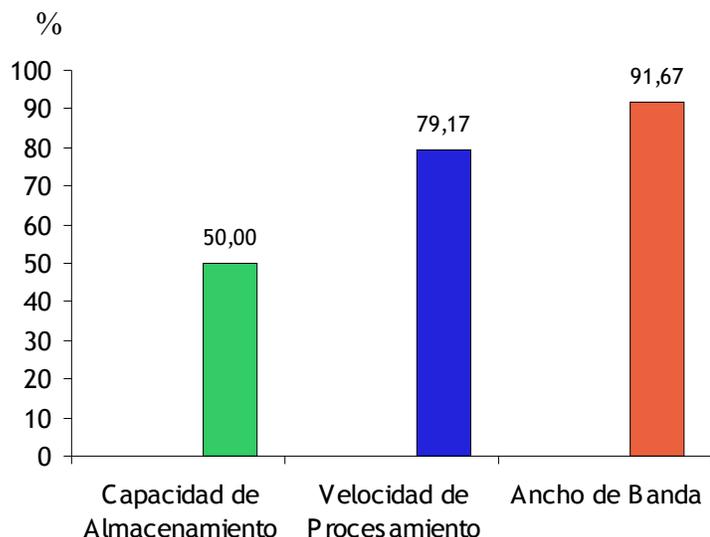


Figura 1. Factores tecnológicos que frenan el desarrollo de la Bioinformática hoy en Cuba, y orden de su afectación, según resultados de la encuesta aplicada al grupo de la primera maestría en esta disciplina que se hace en el país.

De igual forma se evidenció que la cifra ideal de instituciones que participen en un proyecto, aunque dependa 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 (Figura 2). No obstante, la práctica ha demostrado que la selección del líder depende del tipo de proyecto. Sobre este particular, los autores apuntan que el hecho de que la UCI cuente con un perfil de Bioinformática en el currículo de la carrera constituye 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.

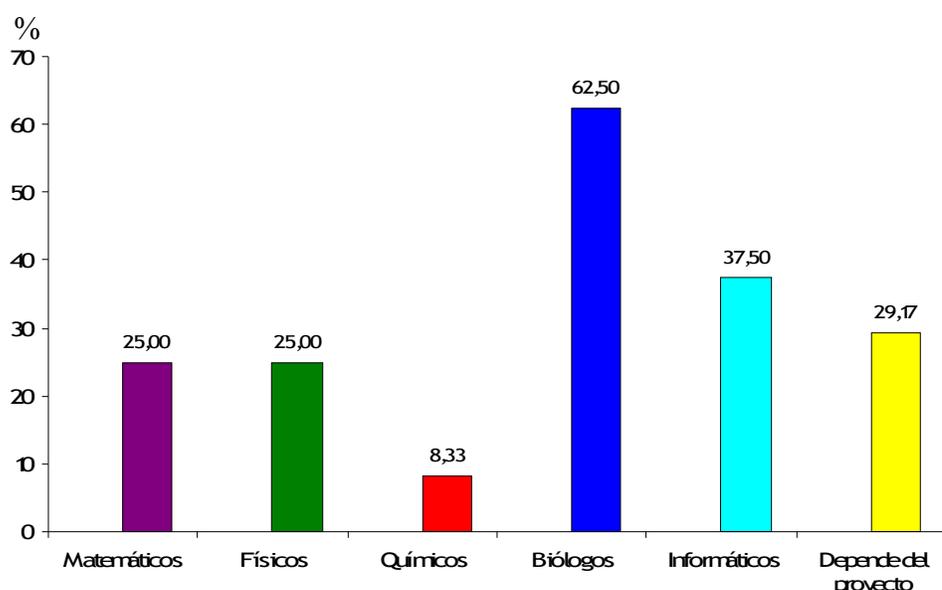


Figura 2. Profesionales que deben gerenciar los proyectos de Bioinformática en Cuba, y orden en que deben hacerlo, según opiniones de los maestrantes y profesores encuestados de la primera maestría en esta disciplina que se hace en el país.

## Resultados y Discusión

De las respuestas ofrecidas por los entrevistados y por los encuestados en las preguntas abiertas del cuestionario, se extrajeron aspectos que favorecen y dificultan el desarrollo de la Bioinformática en Cuba en la actualidad. A esta información se le aplicó el análisis de la matriz FODA (Thompson *et al.*, 1998, citado por Ponce, 2006), y de ahí se propone como primer resultado el diagnóstico de la Tabla 1.

Tabla1. 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

- Preparación de los recursos humanos, sobre todo, en ciencias particulares como matemática,

### DEBILIDADES

- Ancho de banda en las comunicaciones, velocidad de procesamiento y capacidad de

biología, física, química e informática por la alta calidad de sus programas curriculares en las universidades cubanas

- Colaboración entre instituciones académicas y científico-productivas a través de proyectos de I+D, que no compiten entre sí
- Investigadores del Polo Científico del oeste de La Habana con experiencia en este campo y que desarrollan proyectos importantes
- Capacidad de los CES cubanos para asumir nuevas modalidades de formación en esta disciplina
- Impacto económico, social, ético y político de las investigaciones en Bioinformática
- Primera edición de la Maestría en Bioinformática
- Existencia del Centro Nacional de Bioinformática para coordinar y aunar esfuerzos

almacenamiento

- Incipiente desarrollo de la disciplina en el país, en general, y poco personal capacitado
- Poca cultura de desarrollo y trabajo con Software libre
- Problemas de comunicación entre biólogos e informáticos
- Difícil acceso a literatura actualizada
- Escasa integración de las universidades con los centros de I+D a nivel nacional
- Falta de un programa curricular de pregrado y de un programa doctoral en Bioinformática en Cuba
- Inexistencia de una red nacional o estructura que jerarquice el desarrollo de la Bioinformática en el país, lo coordine y controle

#### **OPORTUNIDADES**

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

#### **AMENAZAS**

- Escasa inclusión del Ministerio de Salud Pública en las decisiones y coordinación nacional sobre Bioinformática, teniendo en cuenta que es uno de los principales beneficiados de sus impactos
- Instituciones cubanas que trabajan en Bioinformática sin acceso a Internet
- Poco conocimiento de la disciplina y su utilidad entre directivos de organismos e instituciones
- Carencia de eventos o espacios frecuentes de intercambio para compartir avances e ideas nuevas
- Falta de una revista cubana de Bioinformática para la divulgación de los resultados
- Escasa colaboración e intercambio internacional
- Falta de financiamiento y recursos para proyectos

En varios de los aspectos presentados en este diagnóstico, se corrobora lo planteado por Febles y Montero (2005), Pons *et al* (2007) y Febles (2007) en estudios precedentes. No obstante, en los cuatro indicadores hay nuevos aportes resultantes de esta investigación.

Con la aplicación de los métodos y técnicas cualitativas ya mencionados y teniendo como base el diagnóstico que se presentó en la Tabla 1, los autores proponen como segundo resultado obtenido de este estudio, un conjunto de recomendaciones útiles para contribuir al desarrollo de la Bioinformática en Cuba y lograr mayor integración nacional, considerando que esta es una disciplina emergente en constante avance y con profundas implicaciones económicas, éticas, sociales y políticas.

Las recomendaciones se corresponden con factores organizativos, de formación, planificación, disponibilidad de recursos e infraestructura tecnológica, divulgación social de la ciencia, motivación, y son las siguientes:

1. Crear una infraestructura adecuada a nivel nacional para la dirección de sistemas regulares hacia la formación de postgrado en este campo multidisciplinario, con la contribución de los Ministerios de Educación Superior (MES), de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), de Salud (MINSAP) e instituciones académicas y de I+D.
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 centro-oriental del país.
3. 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.
4. 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.
5. 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, la Universidad de Camagüey, la Universidad de Oriente, entre otros, a través de proyectos de I+D, la formación postgraduada, espacios de debate e intercambio, publicaciones conjuntas, y otras variantes de integración.
6. 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.

7. Fomentar y promover la formación de especialistas en programas doctorales que se llevan a cabo con diferentes modalidades, donde se realizan investigaciones y se forman doctores en colaboración con universidades avanzadas de Europa: Universidad de Valencia – ISPJAE; Universidad Autónoma de Madrid – Universidad de La Habana y Universiteit Hasselt - Universidad de La Habana.
8. Impulsar el uso y desarrollo de plataformas de trabajo de Software Libre.
9. Incrementar la divulgación social de los logros de esta disciplina en el país, en revistas y diversos medios, así como dar a conocer los primeros graduados de la Maestría cubana en Bioinformática, sus resultados y proyecciones, de manera que constituya motivación y ejemplo de lo alcanzado para quienes trabajan en este campo.
10. 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.
11. Crear una red colaborativa 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.

## **Conclusiones**

1. La Bioinformática es una disciplina emergente con marcado carácter interdisciplinario que demanda permanentemente de la capacitación y actualización de sus recursos humanos 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 cubana 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. Existen tres problemas que afectan mayoritariamente el desarrollo de la bioinformática hoy en Cuba: la capacidad de almacenamiento, la velocidad de procesamiento y el ancho de banda.
4. Los proyectos de I+D son la base para lograr una mayor integración entre los centros que colaboran en esta disciplina. 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.
5. 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 unas y otros.

6. La formación de especialistas en esta disciplina se ha fomentado con la edición de varios diplomados, la primera maestría en Bioinformática, la contribución de la UCI en este sentido que desde el pregrado cuenta con un “segundo perfil” en una de sus Facultades pero, sigue basada en la reconversión.
7. Se recomienda continuar esta investigación en el grupo de la segunda edición de la Maestría en Bioinformática, cuando se inicie, para enriquecerla y lograr un mayor acercamiento al estado actual de esta joven disciplina en Cuba.

## Referencias

- 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)].
- 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>].
- 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>].
- 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.
- 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/AD086.doc>].
- 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. (2000). 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.

- 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.
- 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\\_CHAR=86432992-17B0-4B7B-A538-C63722AEEB7](http://www.sciamdigital.com/index.cfm?fa=Products.ViewIssue&ISSUEID_CHAR=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](http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/about.shtml)].
- Lage, A. (2007). 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)].
- 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.
- 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/>].
- 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.
- 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.
- 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)].