

ARTÍCULO ORIGINAL

La introducción de la bioinformática en el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología

Introduction of Bio-Informatics in the National Institute of Oncology and Radiology

Oscar Antonio Casanella Saint-Blancard,¹ Kenia Rodríguez Jorge²

¹ Instituto Nacional de Oncología y Radiología (INOR), La Habana, Cuba. oscarcsb@gmail.com

² Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE), La Habana, Cuba. krodriguez@gest.cujae.edu.cu

RESUMEN

La bioinformática se puede definir como la aplicación de las ciencias informáticas para resolver problemas biológicos. Su aplicación se hace cada día más necesaria y común en el campo de las investigaciones de las ciencias de la vida. En nuestro país, el cáncer ocupa la primera causa de muerte en la población, por lo que las investigaciones sobre este problema de salud en todos los centros y en particular el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) son de vital importancia. El objetivo de este trabajo es caracterizar la introducción de la bioinformática en el INOR para encontrar los factores y elementos que influyen en este proceso. Para ello se realizó una entrevista a un experto y se aplicó una encuesta para evaluar el conocimiento que tienen los trabajadores del INOR sobre la bioinformática. Se realiza un análisis histórico y contextual, en el cual se consideran todos los grupos sociales relevantes en el proceso de introducción.

PALABRAS CLAVE: medicina molecular, secuencias de proteínas, transferencia tecnológica.

ABSTRACT

Bio-informatics can be defined as the application of informatics sciences to solve biological problems. Its application is more necessary every day, and also common in the field of life sciences research. In our country, cancer occupies the first cause of death among the population, that is why the research on this health problem in all research center, an in particular in the National Institute of Oncology and Radiology (INOR) are of the outmost importance. The present work is aimed at characterizing the introduction of bio-informatics in INOR in order to find the factors and elements that influence this process. Thus, an interview to an expert was carried out, and a poll was applied to evaluate INOR's workers knowledge of bio-informatics. A historical and contextual analysis is performed, in which all relevant social groups in the process of introduction are regarded.

KEYWORDS: molecular medicine, proteins sequence, technologic transference.

Introducción

La bioinformática es una disciplina emergente en las ciencias. Su surgimiento se debe a la gran cantidad de información que se generó a partir de la década de los setenta del pasado siglo, por la secuenciación de proteínas, las apariciones de las primeras bases de datos biológicas y, posteriormente, la secuenciación de genomas de varias especies, enunciada en términos de cadenas

de ácidos nucleicos. En este contexto, se desarrolla la demarcación de la bioinformática y en su concepción más extensa analiza los aspectos relacionados con la adquisición, el procesamiento, la distribución, el análisis y la interpretación de la información biológica. Esta disciplina está condicionada por el desarrollo de la informática y las ciencias biomédicas, la aparición de variadas aplicaciones de nuevos métodos computacionales en los problemas de orden biológico y la experimentación *in silico*, factores que contribuyen de manera eficaz en la prevención y tratamiento a diversas enfermedades.

En Cuba comenzaron a crearse grupos de bioinformática en algunos centros de investigación como en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) y el Centro de Inmunología Molecular, en los últimos años del siglo XX.¹ El país presenta uno de los índices más altos de desarrollo humano en cuestiones referentes a la salud, altos índices de sanidad, alta esperanza de vida, bajos índices de mortalidad, altos niveles de instrucción, solo comparable con algunos países de Europa. Sin embargo, el envejecimiento poblacional complejiza esta situación. Al crecimiento demográfico negativo, que implica el aumento de los costos de la salud en las políticas asistenciales, podemos añadir la incidencia del cáncer como la primera causa de muerte en Cuba; que afecta tanto por factores genéticos como ambientales, los cuales tienen gran incidencia en el desarrollo de la enfermedad.

Existen en el país investigaciones y temas tratados desde la bioinformática que constituyen hoy un tópico de vital importancia para el desarrollo de las investigaciones relacionadas con el tratamiento del cáncer. En el Instituto Nacional de Oncología y Radiología (INOR), la bioinformática aún no se ha introducido a pesar de que su aplicación podría brindar grandes beneficios en la medicina traslacional y personalizada. Pudiera señalarse como ejemplo de ello, la importancia de esta disciplina en la clasificación de pacientes, para predecir la evolución de estos o la respuesta a un tratamiento, y en el diseño de fármacos antitumorales.

Este es el primer estudio que aborda la transferencia tecnológica de la bioinformática en el INOR. Por las razones antes expuestas, se hace necesario y urgente la introducción de esta tecnología en el INOR. En adición, las nuevas tecnologías de experimentación requieren la bioinformática para analizar información compleja y de gran volumen.

Origen y desarrollo de la bioinformática

Desarrollo de la bioinformática en el mundo

Se puede definir la bioinformática como la aplicación de las ciencias informáticas para resolver problemas biológicos; tarea esta llevada a cabo por un grupo multidisciplinario. Existen varios términos que son utilizados indistintamente por la comunidad científica para referirse a este concepto de bioinformática; por ejemplo, biología computacional. Paulien Hogeweg acuñó el término bioinformática en 1970 para referirse al estudio de procesamiento de información en sistemas biológicos. El concepto de bioinformática fue replanteado para referirse a la creación de bases de datos biológicas como GenBank en 1982.

Las computadoras se hicieron esenciales en biología molecular cuando las secuencias de proteínas estuvieron disponibles después de que Frederick Sanger determinara la secuencia de la insulina en los años 1950. La comparación múltiple de secuencia de forma manual es impráctica. Una pionera en este campo fue Margaret Oakley Dayhoff, quien junto con David Lipman, director del Centro Nacional de Información Biotecnológica, son considerados como la madre y el padre, de la bioinformática.

Dayhoff creó una de las primeras bases de datos de secuencias de proteínas –inicialmente publicada como un libro– y desarrolló métodos de alineamiento de secuencias y evolución molecular. Otro contribuidor temprano a la bioinformática fue Elvin A. Kabat, pionero del análisis de secuencias biológicas en los setenta, con sus volúmenes completos de secuencias de anticuerpos publicados con Tai Te Wu entre 1980 y 1991.²

Actualmente, las computadoras son componentes esenciales de las investigaciones biológicas. Las manos humanas son sustituidas por las «manos robóticas», que ofrecen un sinnúmero de ventajas, entre las que se encuentran la disminución de errores aleatorios, aumento de la reproducibilidad, disminución de la probabilidad de contaminación, aumento de la precisión y el ahorro de tiempo. El hombre está cada vez más centrado en el diseño experimental, para luego enfrentar el análisis e interpretación de los datos. Los experimentos dentro de las ramas de la ciencia llamadas «ómicas» – como la genómica, la transcriptómica, la proteómica y la metabolómica– son ejecutados de forma automática por equipos, que generan cientos de miles de datos. Para poder llegar a extraer información y conocimiento de ellos es imprescindible el uso de computadoras. «El desarrollo tecnológico está alterándolo todo, desde lo económico y lo político hasta lo psicosocial; la vida íntima de las personas, los patrones de consumo, la reproducción humana, la extensión de la vida y sus límites con la muerte. La tecnología lo invade todo en el mundo contemporáneo».³

La transmisión de la información que se genera a nivel mundial a través de las nuevas tecnologías provoca consecuencias en el desarrollo psicológico y moral de los sujetos, y en la estructura funcional de las sociedades, en un contexto de globalización neoliberal donde aumenta la actualización y la dependencia de las tecnologías. La relación tecnología-sociedad es dialéctica, y se vincula a la cultura imperante en cada región. Por tanto, el desarrollo tecnológico es un fenómeno cultural y de transformación social. Como resultado surge la necesidad de una cultura tecnológica en la cual «están presentes la moral, la política, la ciencia, el arte, entre otros aspectos que contribuyen al enriquecimiento de la práctica tecnológica».⁴

La consolidación de la ciencia moderna, entendida como modelo de organización productiva ideal, crea paradigmas tecnológicos y cognoscitivos, rige las formas de entender y solucionar los problemas –de manera acelerada y constante–, impacta y alcanza todos los órdenes de la vida social, aunque en modo desigual. Así, a pesar de existir un desarrollo de esta ciencia en el área, los países altamente desarrollados poseen todavía el control de estos saberes.

Existe la concepción casi generalizada de la investigación científica como un proceso productivo, por lo que se maneja en términos actuales como una inversión. Agustín Lage nos alerta sobre la posibilidad de hacer un análisis económico de los proyectos que, aunque implique riesgos, no suponga la planificación rígida, sino que genere un conocimiento sobre la posibilidad de realizar de dichas investigaciones.⁵ En el campo de la bioinformática, al igual que en otras ciencias, la tecnología está respaldada por el conocimiento, y su sentido principal es generar procedimientos y productos.

Desarrollo y funcionamiento de la bioinformática en Cuba

En nuestro país se han destinado recursos para impulsar el desarrollo de las nuevas tecnologías, que han sido adoptadas con el objetivo de insertarnos en el mundo moderno y utilizarlas como herramientas para el desarrollo de diversas esferas de la sociedad. Las investigaciones científicas se han desarrollado en Cuba desde el triunfo de la Revolución. Al respecto, Fidel Castro expresó que «el futuro de Cuba tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia».⁶ Sobre esta

base se han impulsado diferentes campos de las ciencias, fundamentalmente en ramas como la biotecnología, la farmacología y las investigaciones biomédicas, y se han fundado centros de investigación y empresas como el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), Centro de Inmunología Molecular (CIM), Instituto Finlay, Centro de Inmunoensayos, Instituto Pedro Kouri, entre otros.

En cambio la bioinformática no ha corrido la misma suerte. La mayoría de las experiencias de su utilización han estado condicionadas por la voluntad de científicos y docentes que han encaminado sus inquietudes y esfuerzos hacia esta rama:

El 13 de diciembre de 2001 se creó el Centro Virtual de Bioinformática, por la resolución rectoral 746/2001, como centro de estudios de la Universidad de La Habana, para asumir las funciones de coordinación, desarrollo y promoción de las actividades científicas y docentes relacionadas con la bioinformática en todas las áreas universitarias, así como con otras entidades científicas y docentes. La infraestructura básica y administrativa del programa se estableció en la Facultad de Química.⁷

En 2002 se fundó el Instituto Nacional de Bioinformática, el cual perteneció al Instituto Nacional de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INTEC). Sin embargo dicho instituto se disolvió en 2011 por una reestructuración del INTEC. En el año 2013 el Centro Virtual de Bioinformática logra que se apruebe el Programa de Doctorado Curricular Colaborativo en Bioinformática. La primera convocatoria de este programa cuenta con una matrícula de 20 estudiantes de doctorado provenientes de varias provincias del país, de ellos 13 pertenecen a centros localizados en La Habana.

El imperativo de construir un nuevo paradigma que se centre en la personalización que impone la medicina molecular, ha encontrado en nuestro país la aplicación de productos biotecnológicos, desde la vacuna recombinante antihepatitis B, la estreptocinasa recombinante y las vacunas terapéuticas para neoplasias malignas, hasta los protocolos de tratamiento oncológico según el inmunofenotipo u otros marcadores tumorales. A pesar de las innumerables ventajas que brinda esta nueva ciencia, en Cuba su desarrollo es aún precario por varias razones. En primer lugar, por la falta de su inclusión en los programas de estudio de las carreras, fundamentalmente en las ciencias médicas, las biológicas y las informáticas. Esta disciplina no ha encontrado su lugar en los objetivos, contenidos y habilidades, paso necesario para devenir en asignatura transdisciplinaria dentro del plan de estudios. En el caso de los posgrados «se organizaron dos ediciones de un programa de maestría en bioinformática coordinado por el Instituto Nacional de Bioinformática [...] y por la Universidad de las Ciencias Informáticas. La primera edición de esta maestría se realizó de 2006 a 2008 y la segunda edición del 2010 al 2012».⁸

Existe, además, una carencia de personal calificado en esta rama, debido a la diversidad de estudios que se requiere –biológicos, matemáticos, físicos, químicos, entre otros–, que hace más compleja la incorporación de profesionales a esta área de especialización. Asimismo, la formación de especialistas ha estado más enfocada en las ciencias biológicas que en las médicas. Las experiencias más relevantes en Cuba han sido los cursos prácticos impartidos por el Departamento de Bioinformática del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, el último de ellos en 2004, y la inclusión de la Bioinformática en las carreras de la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana, la cual cuenta además con una página virtual con información sobre esta disciplina.

Otra de las problemáticas más importante que encontramos en el transcurso de esta investigación es que la mayoría de los recursos e informaciones están disponibles exclusivamente en inglés. Un

segundo impedimento para la realización de investigaciones en este campo es la falta de presupuesto para la inversión. Sin embargo, puede afirmarse que con un adecuado acceso a Internet se reducirían los costos que presuponen los estudios *in vitro* y pudiera estudiarse la opción de brindar estos estudios como un servicio que produzcan valor agregado a países de menor grado de desarrollo.

En los Lineamientos existe la consideración de que la ciencia y la tecnología deben ser favorecidas, a partir de la creación de políticas públicas de carácter sociohumanitario, donde se vean reflejados los intentos por avanzar en materia de innovación e insertarnos en el mercado mundial con nuevos productos y servicios que permitan la sostenibilidad económica del país.⁹

Potenciales impactos del empleo de la bioinformática en el INOR y limitaciones para su desarrollo

El INOR es un centro con una gran potencialidad de investigación. A pesar de no contar con un equipamiento de laboratorios de última generación que permita llevar a cabo experimentos para determinar polimorfismos de simple nucleótido simple, variación del número de copias genéticas o microarreglos para determinar los niveles de expresión genética y, por tanto, disponer de este tipo de dato, en el INOR diariamente se atienden y se recoge información de casi mil pacientes. Desafortunadamente, este gran volumen de información no es bien aprovechada al no digitalizarse, pues hacer estudios y análisis leyendo cada una de las historias clínicas no es factible en la práctica, sobre todo, en términos de tiempo.

Son inimaginables los beneficios que podría traer el desarrollo de un sistema digital de historias clínicas, que no solo contenga las impresiones clínicas, sino también los resultados de los análisis de los laboratorios, imágenes de las tomografías axiales computarizadas (TAC), resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones combinada con tomografía axial computarizada (PET/CT). Estas historias clínicas digitales no solo permitirían hacer investigaciones de patrones, factores de riesgos, predictores de respuesta a tratamientos y factores pronósticos en un tiempo relativamente corto, sino que directamente en la práctica clínica traerían beneficios, pues los médicos pudieran acceder de forma inmediata a toda la información y variables clínicas de un paciente, sin tener que invertir tiempo en los grandes archivos hospitalarios.

Los grupos sociales beneficiados con la introducción de la bioinformática en el INOR son los pacientes oncológicos de nuestro país y de otros países, sus familiares y los trabajadores del instituto que son investigadores, incluidos los médicos. Debido a que el cáncer, como se ha señalado anteriormente, es la primera causa de muerte en Cuba, un gran porcentaje de la población cubana será beneficiada de forma directa.

Como parte de las investigaciones preclínicas que se llevan a cabo en el INOR está la búsqueda de nuevos fármacos antitumorales. Tradicionalmente se hacían grandes pesquisas *in vitro* e *in vivo*; se probaban en miles de placas con cultivos celulares, miles de compuestos y combinaciones de estos, por lo que se demandaban grandes sumas de dinero y largas jornadas para realizar estas investigaciones. Hoy, gracias a la bioinformática, se ahorra mucho tiempo y dinero pues, con la existencia de bases de datos y la posibilidad de contar con las estructuras o modelar nuevas estructuras moleculares, podemos predecir en computadoras cuáles son las que con mayor probabilidad tendrán un efecto antitumoral en un tipo de células. Luego se obtiene una lista ordenada con los nombres de los compuestos, sus estructuras y las probabilidades que tienen estos de tener efecto antitumoral. Posteriormente, en dependencia de la cantidad de fondos con que cuente el

proyecto, se ensayará *in vitro* los diez, treinta o el número de compuestos con mayor probabilidad de efecto antitumoral que estén al alcance. No son miles de compuestos a probar, sino los que decidan los investigadores según su fondo económico. Además, la probabilidad de tener éxito con estos ensayos es mucho más cercana al 100 %.

Un investigador con conocimiento, con una buena computadora y conexión a Internet de banda ancha, puede acceder a bases de datos públicos, como la base de datos de expresión de genes «Gene Expression Omnibus» o «Array Express», que ofrecen datos de microarreglos de ADN; descargar las matrices de expresión génicas; analizar y encontrar nuevos conocimientos distintos a los aportados por los autores del experimento fuente de esos datos. De hecho, existen muchos centros e institutos en el mundo dedicados a la bioinformática que no realizan ningún trabajo experimental, sino que obtienen los datos publicados en Internet por otros investigadores experimentales.

Impresión de diagnóstico con los datos de la encuesta

Para evaluar el conocimiento que tienen las fuerzas productivas sobre la bioinformática, se aplicó una encuesta (anexo 1) a 108 trabajadores del INOR el 14 de abril de 2014. De los encuestados, 37 pertenecen a la vicedirección de investigaciones y el resto a otras vicedirecciones. El 100 % de los encuestados afirman que es necesaria la introducción de la bioinformática en el INOR. Esto sugiere que existen necesidades en los trabajadores que pueden ser satisfechas por la bioinformática, principalmente entre los investigadores, los médicos –cuando necesitan acceder a la información clínica patológica y ambiental de los pacientes– y el personal que trabaja en departamentos como el archivo o el registro de cáncer.

De las definiciones de bioinformática propuestas, el 70 % de los encuestados seleccionó la número 2, concepto correcto al ser este el más abarcador, general y que mejor describe la actividad social que nos ocupa. Los conceptos 1 y 3, marcados por 26 % y 2 % respectivamente, son conceptos incompletos, pues son casos particulares dentro de la bioinformática. Con este resultado nos podemos atrever a afirmar que más de la mitad de los trabajadores del INOR tienen una noción acertada sobre el significado de la bioinformática. Este contexto puede estar condicionado por la participación del personal en algunas conferencias y seminarios científicos impartidos en el INOR sobre este tema. Como era previsto, las respuestas más acertadas correspondieron, precisamente, a los encuestados de los departamentos de investigaciones. El 81 % de aquellos que escogieron un concepto no adecuado de la bioinformática pertenecen a departamentos no investigativos. En el test exacto de Fisher, para evaluar la asociación o independencia de las variables, este caso arrojó un valor de $p=0.02$, por lo que la asociación entre las variables departamento del encuestado y selección del concepto es estadísticamente significativa (anexo 2).

Los resultados menos alentadores se obtuvieron con las respuestas de la tercera pregunta que aborda las aplicaciones de la bioinformática. La aplicación menos reconocida fue la número 2 (Predicción de la evolución de un paciente), seguida de la número 1 (Desarrollo de *software* para el análisis y procesamiento de imágenes). La número 4 (Búsqueda de marcadores diagnósticos, pronósticos y predictores de respuesta a tratamiento) fue la aplicación más reconocida (figura 1). Este resultado puede deberse a que los autores del presente trabajo, en varias ocasiones, han presentado esta aplicación como parte de sus proyectos en seminarios científicos, lo cual indica que estos seminarios tienen un impacto positivo en la capacitación de los trabajadores y constituyen una buena herramienta de comunicación e intercambio científico.

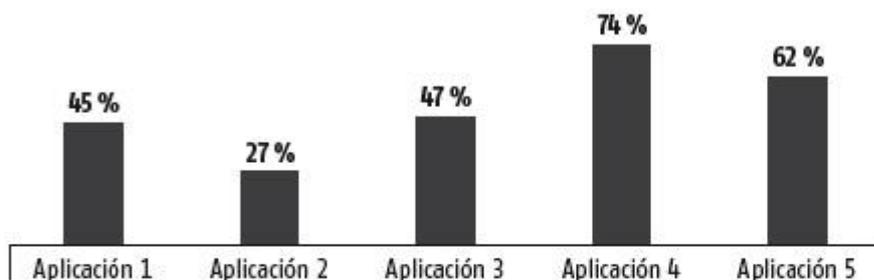


Figura 1. Porcientos de encuestados que marcaron cada aplicación.
Fuente: elaboración propia

Un resultado sorprendente fue el hecho de que el 82 % de los encuestados que seleccionaron el concepto adecuado, no reconocieron la predicción de la evolución de un paciente como una de las posibles aplicaciones de la bioinformática. Esta dependencia entre la selección del concepto y la selección de la aplicación 2 es estadísticamente significativa de acuerdo al test exacto de Fisher, $p=0.003$.

Un dato muy interesante y desalentador se encontró en la asociación entre la selección por parte de los encuestados de las aplicaciones 5, 2 y 3; pues la mayoría de los trabajadores que no reconocieron el análisis de secuencias de ADN y proteínas como una aplicación de la bioinformática, tampoco reconocían el diseño de fármacos y la predicción de la evolución de un paciente como otras de las aplicación (figura 2). El análisis de secuencias de ADN y proteínas es la más antigua de las aplicaciones, y por tanto de las más conocidas. Los trabajadores que no reconocieron estos usos tienen muy pobre conocimiento general sobre las aplicaciones de la bioinformática. La asociación entre la selección de la aplicación 5 y la selección de la aplicación 2 o la 3 fue estadísticamente significativa en ambos casos; sobre todo en la asociación entre las aplicaciones 5 y 3. Los valores respectivos para el test exacto de Fisher fueron $p=0.007$ y $p=10^{-7}$.

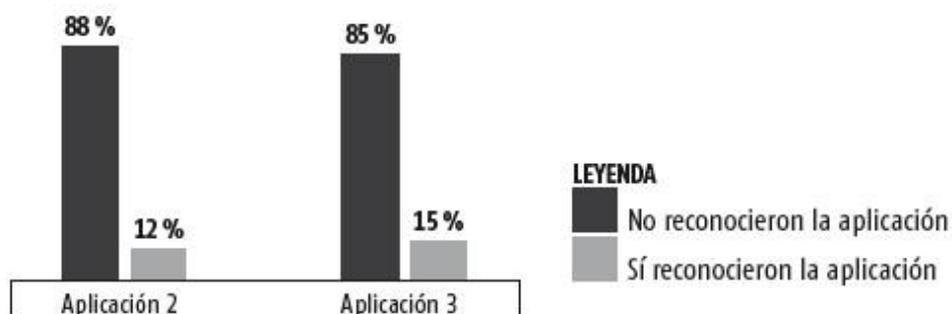


Figura 2. Comportamiento de los encuestados que no seleccionaron la aplicación 5.
Fuente: elaboración propia

Solucionar esta situación desfavorable se traduce no solo como un costo en materia económica, sino también como un impacto social constatable, como un beneficio. Este impacto social se puede evidenciar en varios campos que van desde la modificación de estilos de vida a partir de un diagnóstico certero, hasta el cambio que se introduce en el campo de los valores, la cultura, las

relaciones interpersonales, entre otros.¹⁰ En el campo de la bioinformática, esta relación costos-beneficios se inclina a favor de un incremento exponencial de los beneficios; no solo por el ahorro de tiempo y de recursos, sino también por el aumento de la calidad de vida de los pacientes –en este caso los afectados por cáncer– que, una vez aplicada la bioinformática en el INOR, podrían disponer de diagnósticos más certeros y tratamientos personalizados más eficaces. El establecimiento de una base de datos adecuada contribuiría notablemente al desarrollo prospectivo de vacunas u otros tratamientos de efectividad en la lucha contra las enfermedades mortales. Otro elemento a tener en cuenta, sería la socialización de estos resultados para la búsqueda de soluciones, o al menos paliativos, a otras enfermedades.

Limitaciones para el desarrollo de la bioinformática en el INOR

Como limitantes concretas para lograr un desarrollo de la bioinformática en el INOR pudiera señalarse:

- Insuficiencia del acceso a Internet, lo cual impide la actualización de las investigaciones en torno a la bioinformática, hoy pocos trabajadores con acceso, conexión limitada con cuota diaria de 400 Mb para todo el Instituto y baja velocidad para la transmisión de datos.
- Los efectos del embargo impuesto por los Estados Unidos de América sobre nuestro país que impiden el acceso desde Cuba a múltiples sitios necesarios en la aplicación de la bioinformática a la oncología. Un ejemplo de ello es la imposibilidad de acceder al sitio *oncomine.org*, donde se publica gran cantidad de datos de experimentos oncológicos.
- El déficit de computadoras y *clusters* que permitan el procesamiento de datos.
- Falta de información de los registros clínicos, que implica la falta de patrones que beneficien la probabilidad de diagnósticos posteriores a otros pacientes, pues las historias clínicas se encuentran en muy mal estado (ilegibles, incompletas, con información imprecisa) y existe gran cantidad de pacientes que se consultan a diario.
- Carencia de una base de datos que ayude a mejorar la situación actual.
- Falta de apoyo de la institución.

En este proceso de introducción de la bioinformática ha sido sustancial el trabajo de las fuerzas productivas capacitadas, como los investigadores, que se enfrentan a problemas prácticos que requieren estas herramientas. Desafortunadamente, los médicos y otros trabajadores, como los técnicos en informática, no se involucran activamente en este tipo de investigaciones. En el caso de los médicos, este fenómeno está relacionado con la gran carga asistencial que encuentran diariamente con pacientes de muchas provincias del país que llegan a atenderse en el INOR. Por otra parte, en esta situación sobresalen otros grupos relevantes negativos, como los directivos y administrativos, que en la mayoría de los casos no poseen el conocimiento sobre esta rama y no tienen la voluntad necesaria para establecer una estrategia de planificación para la inversión a corto, mediano y largo plazo, en infraestructura y capacitación del personal. En el año 2004, se inició un servicio de Internet mediante una red informática dentro del INOR, en el cual todos los trabajadores poseían acceso libre a Internet, sin restricción de sitios ni cuota. Sin embargo, este servicio fue eliminado en el año 2006 y los argumentos para hacerlo estuvieron relacionados con la falta de seguridad informática. En el año 2014 se volvió a brindar un servicio de conexión a Internet en el INOR,

pero solo directivos y administrativos tienen acceso; muchos médicos e investigadores quedaron sin la autorización para acceder. Además, la conexión tiene una cuota limitada de 400 Mb diarios para todo el Instituto, lo cual restringe las posibilidades de descarga con fines investigativos. El Ministerio de Salud Pública (MINSAP) de nuestro país depende del presupuesto del estado y, por consiguiente, las inversiones en el campo de la bioinformática dependen de la disponibilidad de recursos y fondos para inversiones.

Conclusiones

Se hace necesario persuadir a los grupos relevantes en el proceso de introducción de la bioinformática en el INOR, fundamentalmente directivos del instituto y del MINSAP, para que creen las condiciones que faciliten un desarrollo en esta rama, similar al de otros centros de investigación del país.

A pesar de que Cuba se inserta en la lógica del mercado internacional globalizado, todavía es harto complicado el desarrollo de la bioinformática. No obstante, se han dado pasos en esta dirección en varios centros del Polo Científico del oeste de la capital y en los nuevos planes de estudios de carreras biológicas, pero estas acciones no han logrado llegar al Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología. Los trabajadores del INOR, aunque tienen un conocimiento básico sobre la bioinformática, no encuentran las condiciones para aprender y trabajar con las herramientas que esta ofrece, y desconocen todas las aplicaciones y potencialidades que brinda.

Anexo 1. Encuesta aplicada

Encuesta de Programa de Doctorado en Bioinformática. Año 2014.

Asignatura: Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología

¿Piensa usted que sería importante desarrollar la bioinformática en el INOR? Sí__ No__

Marque con una cruz la respuesta adecuada.

La bioinformática es:

El manejo de bases de datos biológicos por parte de personal entrenado en informática.

La aplicación de la informática por un grupo multidisciplinario, para resolver problemas biológicos.

El uso de las computadoras para calcular dosis y otros parámetros de un tratamiento.

Marque con una cruz las aplicaciones de la bioinformática.

Desarrollo de *software* para el análisis y procesamiento de imágenes.

Predicción de la evolución de un paciente.

Búsqueda de marcadores diagnósticos, pronósticos y predictores de respuesta a tratamiento.

Análisis de secuencias de ADN y proteínas.

Anexo 2. Test Exacto de Fisher: Variables de la encuesta

Tabla 1. Valores de las preguntas 1 y 2

	DEPARTAMENTO	IMPORTANCIA	CONCEPTO 1	CONCEPTO 2	CONCEPTO 3
DEPARTAMENTO	4.7E-30	5.5E-01	3.7E-02	2.7E-02	1.0E+00
IMPORTANCIA	5.5E-01	4.9E-06	1.6E-01	2.4E-02	1.0E+00
CONCEPTO 1	3.7E-02	1.6E-01	1.6E-26	5.9E-22	1.0E+00
CONCEPTO 2	2.7E-02	2.4E-02	5.9E-22	3.7E-28	8.6E-02
CONCEPTO 3	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	8.6E-02	1.7E-04
APLICACIÓN 1	1.5E-02	5.9E-01	1.9E-01	6.7E-01	5.0E-01
APLICACIÓN 2	7.1E-02	5.6E-01	1.0E-03	1.8E-03	4.8E-01
APLICACIÓN 3	8.6E-06	1.0E+00	5.1E-01	8.3E-01	1.0E+00
APLICACIÓN 4	1.3E-03	1.6E-02	4.5E-01	2.3E-01	1.0E+00
APLICACIÓN 5	3.7E-09	5.6E-01	5.1E-01	1.0E+00	1.0E+00

Tabla 2. Valores de la pregunta 3

	APLICACIÓN 1	APLICACIÓN 2	APLICACIÓN 3	APLICACIÓN 4	APLICACIÓN 5
DEPARTAMENTO	1.5E-02	7.1E-02	8.6E-06	1.3E-03	3.7E-09
IMPORTANCIA	5.9E-01	5.6E-01	1.0E+00	1.6E-02	5.6E-01
CONCEPTO 1	1.9E-01	1.0E-03	5.1E-01	4.5E-01	5.1E-01
CONCEPTO 2	6.7E-01	1.8E-03	8.3E-01	2.3E-01	1.0E+00
CONCEPTO 3	5.0E-01	4.8E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
APLICACIÓN 1	6.4E-32	8.3E-01	8.5E-01	7.8E-02	6.9E-01
APLICACIÓN 2	8.3E-01	2.3E-27	1.0E+00	2.2E-01	7.2E-03
APLICACIÓN 3	8.5E-01	1.0E+00	4.7E-32	3.8E-01	1.1E-07
APLICACIÓN 4	7.8E-02	2.2E-01	3.8E-01	1.6E-26	3.7E-01
APLICACIÓN 5	6.9E-01	7.2E-03	1.1E-07	3.7E-01	9.2E-31

Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANA ERCILLA, MAYRA y ROBERTO VALDÉS ESPINOSA: «Tecnología apropiada: concepción para una cultura», *Revista Cubana de Ingeniería*, vol. 4 , n.º 1, La Habana, 2013, <http://rci.cujae.edu.cu/files/Vol_4_No_1_2013.pdf> [8/5/2014].
- CASTRO, FIDEL: «Discurso pronunciado en el acto celebrado por la Sociedad Espeleológica de Cuba, en la Academia de Ciencias», 15 de enero, 1960.
- DÍAZ CABALLERO, JOSÉ RICARDO: «En torno a la periodización de la Técnica», *Tecnología y Sociedad*, t. II, ISPJAE-MES, La Habana, 1999, pp. 10-18, ISBN 959-258-075-8.
- LAGE DÁVILA, AGUSTÍN: «La economía del conocimiento y el socialismo: Reflexiones a partir de la experiencia de la biotecnología cubana», *Cuba Socialista*, n.º 30, La Habana, 2004, pp. 2-28, <<http://www.areitodigital.net/LAGE.AGUSTIN.economicacubana.II.OTO-INV.05.htm>> [15/5/2014].
- CASANELLA SAINT-BLANCARD, OSCAR: «Entrevista realizada a Luis Alberto Montero Cabrera», mayo 22, Facultad de Química, Universidad de la Habana, 2014.
- MOUNT W, DAVID: *Bioinformatics, Sequences and Genomes Analysis*, University of Arizona, Tucson, 2002.
- NÚÑEZ JOVER, JORGE: *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*, Félix Varela, La Habana, 1999.
- NÚÑEZ JOVER, JORGE: «La democratización de la ciencia y el problema del poder», en Emilio Duharte Díaz *et al.*, *La política: miradas cruzadas*, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 2006.
- PARTIDO COMUNISTA DE CUBA (PCC): *Lineamientos de la Política Social del Partido y la Revolución*, La Habana, 2011.
- PONS, TIRSO; LUIS A. MONTERO CABRERA y JUAN P. FEBLES: «Computational Biology in Cuba: An Opportunity to Promote Science in a Developing Country», *Computational Biology*, vol. 3, n.º 11, University of Southern California, noviembre, 2007, <<http://journalsplusorg/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.0030227>> [15/5/2014].

RECIBIDO: 10/3/2015

ACEPTADO: 16/5/2015

Oscar Antonio Casanella Saint-Blancard. Instituto Nacional de Oncología y Radiología (INOR), La Habana, Cuba. Correo electrónico: oscarcsb@gmail.com

Kenia Rodríguez Jorge. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE), La Habana, Cuba. Correo electrónico: krodriguez@gest.cujae.edu.cu

NOTAS ACLARATORIAS

1. Cfr. T. Pons, L. A. Montero Cabrera y J. P. Febles: «Computational Biology in Cuba: An Opportunity to Promote Science in a Developing Country».
2. Cfr. David Mount W: *Bioinformatics, Sequences and Genomes Analysis*.
3. Jorge Núñez Jover: *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*, p. 44.
4. Mayra Arana Ercilla y Roberto Valdés Espinosa: «Tecnología apropiada: concepción para una cultura», p. 20.
5. Cfr. Agustín Lage Dávila: «La economía del conocimiento y el socialismo: Reflexiones a partir de la experiencia de la biotecnología cubana».
6. Cfr. Fidel Castro: «Discurso pronunciado en el acto celebrado por la Sociedad Espeleológica de Cuba en la Academia de Ciencias».
7. Oscar Casanella Saint-Blancard: «Entrevista realizada a Luis Alberto Montero Cabrera».
8. Ídem. Posteriormente este programa fue disuelto.
9. Cfr. Partido Comunista de Cuba (PCC): *Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*.
10. Cfr. Jorge Núñez Jover: *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*.