Informática biomédica

DANIEL CAPURRO^{1,3}, MAURICIO SOTO^{2,3}, MACARENA VIVENT^{3,a},
MARCELO LOPETEGUI³, JORGE R. HERSKOVIC^{4,b}

Biomedical informatics

Biomedical Informatics is a new discipline that arose from the need to incorporate information technologies to the generation, storage, distribution and analysis of information in the domain of biomedical sciences. This discipline comprises basic biomedical informatics, and public health informatics. The development of the discipline in Chile has been modest and most projects have originated from the interest of individual people or institutions, without a systematic and coordinated national development. Considering the unique features of health care system of our country, research in the area of biomedical informatics is becoming an imperative.
(Rev Med Chile 2011; 139: 1611-1616).

Key words: Computational Biology; Health Policy; Medical Informatics; Public Health Informatics.

¹Departamento de Medicina Interna,
²Departamento de Medicina Familiar,
³Unidad de Informática en Biomedicina y Salud. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
⁴School of Biomedical Informatics, University of Texas Health Science Center at Houston, Houston, TX
^aSocióloga, Magíster en Salud Pública
^bPhD en Informática Biomédica

Trabajo apoyado por el programa de becas Fulbright - MECESUP. La fuente de financiamiento no tuvo participación alguna en la elaboración de este manuscrito ni en la decisión de envío para publicación.

Recibido el 29 de junio de 2011,
aceptado el 4 de octubre de 2011.

Correspondencia a :
Daniel Capurro
Lira 63, Primer Piso
Santiago, Chile
Teléfono: 9501027
Celular: +56-2-3543030
E-mail: dcapurro@med.puc.cl

En el paradigma actual de práctica médica dependemos extensamente de expertos que reconocen patrones, basados en datos imprecisos que no necesariamente tienen correlación directa con el estado fisiológico del paciente¹⁻³. Esta forma tradicional de practicar medicina se ve limitada por la capacidad del cerebro humano, que puede manipular pocos conceptos simultáneamente⁴. Estas limitaciones llevan irreversiblemente a la especialización extrema, en la que los profesionales se ven obligados a enfocarse en un subconjunto cada vez más pequeño del paciente para poder mantenerse actualizados⁵. Esta situación se hace más evidente al considerar la enorme cantidad de información disponible y la velocidad con que ella se sigue acumulando. Anualmente, más de 600.000 nuevas publicaciones son indexadas en PubMed⁶. Esta sobrecarga de información ocurre igualmente en las demás disciplinas biomédicas.

En este contexto se han producido dos fenómenos que cambiarán la forma en que se practican y desarrollan estas disciplinas. Primero, los computadores son cada vez más pequeños y baratos, lo que explica su progresiva incorporación a la práctica de las ciencias biomédicas. Segundo, las capacidades de generar y procesar información han crecido en forma exponencial, y los costos

involucrados han disminuido notablemente. Por lo tanto, tenemos disciplinas que utilizan información intensamente, a las cuales se está incorporando progresivamente el uso de computadores, causando una explosión en la cantidad de información generada y disponible para ser analizada. Esos son los ingredientes presentes en la génesis de esta disciplina, la Informática Biomédica.

El uso del término 'informática' es controvertido. En muchas organizaciones, las unidades de informática son aquellas que instalan y prestan soporte a computadores, redes y *software*, por lo que es común asociar el término a este tipo de actividades. Incluso en las universidades e institutos chilenos, las carreras de informática están orientadas a enseñar tecnologías de la información a nivel técnico. Pero la definición más amplia de la Informática es de una disciplina que se dedica al estudio de la interacción de las personas con la información y la tecnología. Es a este concepto al que nos referiremos en este artículo.

La palabra Informática fue utilizada por primera vez en la Universidad Estatal de Moscú, como Informatik⁷. Inicialmente se definió como "la disciplina que estudia la estructura y las propiedades generales de la información científica y las leyes que rigen los procesos de comunicación

científica”⁸. Actualmente, las definiciones más aceptadas son las que se refieren a la Informática Biomédica como “la ciencia interdisciplinaria que estudia y busca usos efectivos de los datos, la información, y el conocimiento biomédico para la investigación científica, resolver problemas y tomar decisiones, motivada por mejorar la salud humana”⁹. Esta definición refuerza el concepto que la Informática estudia la información en el contexto de su interacción con las personas y, a su vez, de éstas con la tecnología.

A pesar del enorme progreso tecnológico que ha ocurrido en las ciencias biomédicas, los computadores se han incorporado lentamente en comparación a otras áreas de la ciencia. Las primeras referencias a la incorporación de computadores a la medicina ocurrieron en la década de 1950 y estaban vinculadas a las áreas de bioingeniería, cuando ese término agrupaba todo lo relacionado con biología e ingeniería. Con el transcurso de los años, comenzaron a surgir términos como computación médica, procesamiento de información médica, ciencias de la información médica, entre otros. Muchos de estos términos se utilizaron indiscriminadamente, ayudando a crear confusión. Hoy en día la Informática Biomédica abarca todas estas áreas. Por lo tanto hemos adoptado el término “Informática Biomédica” como el nombre de la disciplina¹⁰.

Muchos se preguntarán: ¿Por qué la Informática Biomédica es diferente a la de otras áreas? ¿Por qué hay que definir una nueva disciplina? La respuesta es que tanto la información biomédica como el ámbito en que ésta existe tienen características únicas.

En primer lugar, se trata de información estructuralmente compleja: no es simple representar en un computador la información relativa a vías metabólicas de una célula o todas las relaciones anatómicas del corazón humano. En segundo lugar, la información biomédica es incierta. Cuando se ingresa un diagnóstico a una base de datos, se ingresa lo que el clínico tratante cree es el diagnóstico más probable en ese momento. Rara vez se tiene certeza absoluta de que ese diagnóstico es real. Si hablamos de los “problemas” de un paciente, la incertidumbre es aún mayor².

Hay otro elemento que hace que la información biomédica sea diferente a otros tipos de información. Se trata de información de la salud de personas, por lo que las medidas de privacidad

y seguridad deben ser máximas, y aún más, las consecuencias de que un sistema falle son enormes. Puede argumentarse que hay otras disciplinas que usan información tanto o más incierta, que requieren de medidas de seguridad mayores o que la información es más compleja, pero es la coexistencia de este conjunto de elementos la que hace de la información biomédica algo único.

Habiendo definido el ámbito de esta disciplina, podemos ahora describir sus componentes. Como se ilustra en la Figura 1, esta disciplina abarca desde las ciencias biológicas hasta la salud pública, e incluye los siguientes sub-dominios:

- a. Bioinformática: estudia la información biológica, especialmente celular y molecular. Ejemplos: análisis de secuencias genéticas, representación de información relativa a vías metabólicas y de señalización intracelular y simulación de procesos fisiológicos, entre otras.
- b. Procesamiento de imágenes: estudia el almacenamiento y procesamiento de imágenes biomédicas. Por ejemplo, el procesamiento y análisis de imágenes radiológicas, de anatomía patológica o de microscopía.
- c. Informática Clínica: estudia la información generada por la atención directa de pacientes. Por ejemplo, el estudio del diseño y la implementación de registros clínicos electrónicos, sistemas de ayuda en la toma de decisiones, telemedicina, etc.
- d. Informática en Salud Pública¹¹: estudia la información de la salud de la población. Ejemplos: registros poblacionales, sistemas de vigilancia y monitoreo de enfermedades, sistemas de comunicación en situaciones de emergencia, etc.
- e. Informática para pacientes: estudia la interacción entre los pacientes y la información. Por ejemplo, las fichas electrónicas personales, las tecnologías móviles para el manejo y control de patologías crónicas, etc.
- f. Informática Traslacional: busca integrar las áreas ya descritas a través de la integración de la información biomédica. Por ejemplo, el uso de registros clínicos electrónicos como fuente de fenotipos para investigación genética, el uso de información genética para toma de decisiones en salud pública, la utilización de información clínica para gestión, etc.

Siendo una disciplina transversal, la Informática Biomédica se relaciona y se nutre de múlti-

Figura 1. Componentes de la Informática Biomédica. La informática biomédica puede subdividirse en distintos componentes dependiendo de si el foco de atención está en la biología, medicina clínica o salud pública, sin embargo, existe una notable superposición entre dichos componentes.

ples áreas del conocimiento. De las ciencias de la computación toma el diseño de algoritmos para el procesamiento de datos, conceptos de bases de datos e inteligencia artificial, entre otras. Incorpora también elementos de las ciencias cognitivas, como la interacción persona-computador y el diseño centrado en el usuario. Y con mayor fuerza en la última década, las ciencias sociales centradas en el estudio de factores organizacionales presentes en la incorporación y utilización de este tipo de tecnologías en entornos sanitarios.

Desarrollo actual y nuevas áreas

Durante las primeras décadas, las áreas de desarrollo se centraron principalmente en torno a la informática clínica. Las principales publicaciones del área se referían a los Registros Clínicos Electrónicos (RCE), los Sistemas de Información Hospitalaria y a Inteligencia Artificial para apoyar la toma de decisiones clínicas. Progresivamente se agregaron otras áreas como la bioinformática, con el análisis de secuencias genéticas, vías metabólicas y estructuras proteicas; y la informática en salud pública, con los sistemas de vigilancia epidemiológica, las bases de datos poblacionales, la detección automática de brotes de enfermedades, entre otras. A ellas, se han agregado algunas que vale la pena destacar:

Informática de Pacientes. Con más de 7 millones de usuarios de Internet y más de 16 millones de teléfonos celulares en Chile el año 2009¹², el acceso a computadores e internet ha aumentado

explosivamente. Con ellos, los pacientes pueden acceder directamente a sistemas de información sanitarios y es posible utilizarlos para optimizar la entrega de información y para la prestación de servicios de salud. Esta área se dedica a estudiar cómo los pacientes interactúan con la información relacionada a su salud y con los sistemas que permiten mejorar el diagnóstico y tratamiento de sus enfermedades. En este mismo ámbito, se están desarrollando sistemas que permitan monitorear el estado de pacientes con enfermedades crónicas para poder detectar a tiempo complicaciones o evitar descompensaciones. Ejemplos de esto son las mediciones de peso para pacientes con insuficiencia cardíaca¹³, monitorización de pacientes con Alzheimer, medición de la glicemia y de la ingesta de carbohidratos para pacientes con diabetes¹⁴ o la detección de caídas en adultos mayores.

Informática Traslacional¹⁵. La Informática Traslacional se refiere al traslado de información de una disciplina a otra, específicamente a acelerar el traslado del conocimiento desde las ciencias básicas hacia la clínica y salud pública, y viceversa. Actividades esenciales de esta área son la integración de bases de datos clínicas y biológicas para poder descubrir nuevas aplicaciones, la integración de información genética con bases de datos regionales o nacionales para efectos similares pero con alcances poblacionales. Adicionalmente, utiliza la integración de bases de datos clínicas con sistemas de administración para potenciar la gestión a nivel local o regional de las organizaciones de salud.

Minería de datos clínicos. Esta es un área presente desde los inicios, pero cobra especial relevancia últimamente debido a la cantidad de información disponible, y la capacidad que existe para analizarla. Incluye aplicaciones como el procesamiento de lenguaje natural, que permite extraer conceptos clínicos y biológicos de textos sin formato, y la minería de datos, que permite detectar patrones de asociación entre variables en grandes bases de datos que de otra forma serían imposibles de analizar.

Disciplina en nuestro país

En Chile, igual que en otros países, la implementación de sistemas de información en salud comenzó en forma de actividades aisladas, desarrolladas por individuos con interés personal en la materia. Recién el año 2004 el Ministerio de Salud comenzó a coordinar, al menos parcialmente, las iniciativas en este ámbito, creando el Departamento de Agenda Digital en Salud con la misión de generar las condiciones necesarias para el éxito en la incorporación de este tipo de tecnologías. Dentro de sus funciones se incluyó el desarrollo del marco ordenador para la actividad de las tecnologías digitales en el sector. Como resultado se editó el denominado "Libro Azul" que delineó ampliamente la ruta a seguir para el diseño y la implementación de los sistemas de información para apoyar la reforma de salud, entonces en desarrollo¹⁶. Sin embargo, los sucesivos cambios de gobierno han generado ajustes, lo que se ha traducido en una demora en la realización de la visión plasmada en dicho documento.

Considerando la estructura del sistema de salud chileno, con aseguradores y prestadores públicos que cubren a la mayoría de los habitantes, es crítica la integración de la información a nivel nacional. Un elemento central para ello debe ser la definición de estándares que permitan integrar sistemas a cualquier nivel. Lamentablemente, no se ha avanzado de manera consistente en una legislación que defina estándares para el uso de estas tecnologías en el país. Por otro lado, tanto los Servicios de Salud que son responsables de los complejos asistenciales hospitalarios, como los municipios, que administran los Centros de Salud que forman la red de atención primaria de salud del país, han iniciado proyectos propios de introducción de tecnologías de la información y, más

específicamente, registros clínicos electrónicos.

El resultado es la coexistencia de múltiples sistemas con funcionalidades heterogéneas e incompatibles entre sí. Ya el año 2003, el Ministerio de Salud (MINSAL)¹⁷ señalaba la existencia de aplicaciones locales no compatibles entre sí, con las consiguientes dificultades de integración de información a través de las redes, así como para la obtención de información agregada a nivel nacional. Esta situación se mantiene hasta la fecha, donde cada comuna ha definido sus propios requerimientos y estándares de comunicación para los sistemas a implementar. Adicionalmente, hasta la fecha tampoco existe una evaluación formal, científica de los sistemas implementados, de su estado de implementación o de su impacto.

En el sistema de salud privado existen numerosas experiencias; sin embargo, sólo algunas han sido publicadas. De ellas podemos destacar la implementación de RCE a nivel ambulatorio:

- Megasalud¹⁸: desarrolló una ficha clínica electrónica y se implementó un servicio que permite recuperar la información disponible en la ficha utilizada previamente.
- Red de Centros de Salud Familiar Ancora UC: se implementó un registro clínico electrónico en tres Centros de Salud Familiar. Esta experiencia ha sido considerada como experiencia exitosa del programa "Consultorio sin papel" del MINSAL al permitir el registro electrónico de la mayoría de los procesos clínicos (Soto et al., INFOLAC 2008).
- ITMS Chile¹⁹: en conjunto con el MINSAL, se implementó un sistema de electrocardiogramas a distancia, para poder dar cumplimiento a las garantías de atención de patologías cardiovasculares definidas en la ley.

Además de las actividades de implementación de sistemas de información en salud, el año 2009 inició sus actividades la Asociación Chilena de Informática en Salud (ACHISA)²⁰. ACHISA busca difundir y desarrollar la disciplina en el país. A partir del año 2010, ACHISA también forma parte de la Asociación Internacional de Informática Médica (IMIA), conectando formalmente la disciplina en Chile con el resto del mundo.

La investigación local en esta disciplina ha sido escasa. Las áreas más desarrolladas han sido la bioinformática y el procesamiento de imágenes biomédicas. La Universidad de Chile posee los

laboratorios de Análisis de Imágenes Científicas y el Centro de Modelamiento Matemático, que desarrolla aplicaciones en análisis de secuencias genéticas y procesamiento de imágenes; la Universidad Católica posee el Laboratorio de Bioinformática Molecular y el Centro de Imágenes Biomédicas; y la Universidad de Talca cuenta con el Centro de Bioinformática y Simulación Molecular. Recientemente se han creado centros específicamente dedicados a la investigación y difusión de la disciplina en la Universidad Central y en la P. Universidad Católica de Chile.

La investigación en el área clínica y salud pública es muy escasa. Hasta la fecha conocemos la iniciativa llevada a cabo por la Escuela de Enfermería de la Pontificia Universidad Católica, diseñando e implementando tecnologías de comunicación para apoyar el autocuidado de pacientes con diabetes²¹. Sabemos de la existencia de otros proyectos académicos en desarrollo, pero aún no existen publicaciones al respecto.

Pasos pendientes

Sin desconocer los avances, creemos que hay áreas que no han sido adecuadamente desarrolladas y que debieran ser foco de nuestra atención:

- **Estándares:** la adopción de estándares es un elemento clave para aprovechar estas tecnologías a plenitud. Los sistemas que conversan entre sí permiten acceder a información acerca de la salud de la población y de la prestación de servicios de salud a nivel nacional. Actualmente, son pocos los países que han logrado este objetivo. Estandarizar una vez que ya están implementados los sistemas es muchísimo más caro y, muchas veces, inviable. Junto con ello, es necesario estandarizar lo que se entiende por un registro clínico electrónica en cuanto a sus funcionalidades. Esto permitirá a las distintas organizaciones de salud saber con precisión qué proveedor es capaz de entregar las funciones necesarias. En este punto es crítico el rol facilitador y regulador del Estado.
- **Salud Pública:** si los prestadores de salud han tardado en implementar estos sistemas, la salud pública ha tardado más aún. Necesitamos contar con una infraestructura de vigilancia adecuada que permita recolectar información eficientemente para poder alimentar adecuadamente los procesos de toma de decisiones.

- **Educación:** hasta el momento los únicos programas de entrenamiento en la disciplina que existen en el país son el de Tecnólogo en Informática Biomédica dictado por el centro de formación técnica DUOC-UC y el de Ingeniería en Bioinformática de la Universidad de Talca. A nivel de posgrado los proyectos más avanzados en el país son del Centro Heidelberg para Latinoamérica, ubicado en Santiago de Chile, que en conjunto con la Universidad de Chile, está dictando diplomados y preparando un Magíster en Informática Biomédica y el Centro de Informática en Salud de la Universidad Central que también dicta diplomados. Proponemos una educación con énfasis en formar profesionales capaces de realizar investigación y desarrollo en la disciplina. Considerando el tamaño de nuestro país, debiese haber coordinación y colaboración entre universidades y no fragmentación de esfuerzos.
- **Investigación:** Si bien somos un país en que las tecnologías de la información han sido rápidamente adoptadas, estamos implementando sistemas de información que han sido diseñados para otras culturas, en otros idiomas, para otros sistemas de salud. Nuestra experiencia de diseño, implementación y adaptación de estas tecnologías también será, sin duda, diferente, generando una oportunidad de extremo valor para la investigación en esta disciplina. Adicionalmente, la bioinformática entrega herramientas imprescindibles para avanzar en investigación biomédica y que pueden ser de gran impacto en el estudio de patologías que son características en Chile. Para desarrollar investigación en la disciplina es esencial contar con capital humano avanzado que tenga las herramientas necesarias y financiamiento apropiado. La colaboración entre centros de investigación, tanto nacionales como extranjeros, y entre éstos y el MINSAL, es también esencial para el progreso de la disciplina en nuestro país.

Conclusiones

La Informática Biomédica es una disciplina que responde a las necesidad actual de las ciencias biomédicas de aprovechar mejor la tecnología para la generación y uso de la información. Existen numerosas áreas de desarrollo que pueden impactar

de manera decisiva en la salud de la población, y en la forma de hacer investigación biomédica. Nuestro país, si bien ha avanzado en esta área, aún tiene mucho que recorrer, especialmente en los roles del Estado en definir estándares que permitan aprovechar de mejor manera los recursos, incentivar la cooperación pública-privada, y fomentar la colaboración entre universidades para generar educación e investigación de punta.

Referencias

- Ledley R, Lusted L. Reasoning Foundations of Medical Diagnosis. *Science* 1959; 130: 9-21.
- Blois MS. Information and Medicine: The Nature of Medical Descriptions. University of California Press; 1984.
- Elstein AS, Schwartz A, Schwarz A. Clinical problem solving and diagnostic decision making: selective review of the cognitive literature. *BMJ* 2002; 324: 729-732.
- Miller GA. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 1956; 63: 81-97.
- Stead, WW, Searle, JR, Fessler, HE, Smith, JW, Shortliffe, EH. Biomedical Informatics: Changing What Physicians Need to Know and How They Learn. *Academic Medicine* 2011; 86: 429-434.
- Statistical Reports on Medline®/PubMed®. National Library of Medicine. Disponible en http://www.nlm.nih.gov/bsd/licensee/2010_stats/2010_Totals.html [Consultado el 31 de Enero de 2011]
- Collen M. Origins of Medical Informatics. *Wes J Med* 1986; 145: 778-85.
- Collen M. The Creation of a New Discipline. In: *A History of Medical Informatics in the United States 1950 - 1990*. American Medical Informatics Association, Washington D.C. 1995.
- Smith, Shortliffe, Johnson, Kulikowski, Williamson, Solt, Musen, and Tarczy-Hornoch. Biomedical Informatics Core Competencies. AMIA Academic Forum 2010. Disponible en https://www.amia.org/files/shared/e_Competencies_-_Definition_and_Competencies.pdf [Consultado el 2 de Junio de 2011].
- Hersh W. A stimulus to define informatics and health information technology. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2009; 9: 24.
- O'Carroll et al. In: *Public Health Informatics and Information Systems*. 1st Edition. Springer 2002.
- Chile. En: *The World Fact Book*. Central Intelligence Agency. Disponible en <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ci.html#Comm>. [Consultado el 31 de Enero de 2011].
- Nangalia V, Prytherch DR, Smith GB. Health technology assessment review: Remote monitoring of vital signs - current status and future challenges. *Crit Care* 2010 24; 14: 233.
- Stone RA, Rao RH, Sevic MA, Cheng C, Hough LJ, Macpherson DS, et al. Active care management supported by home telemonitoring in veterans with type 2 diabetes: the DiaTel randomized controlled trial. *Diabetes Care* 2010; 33(3): 478-84.
- Ohmann C, Kuchinke W. Future Developments of Medical Informatics from the Viewpoint of Networked Clinical Research. *Methods Inf Med* 2009; 48: 45-54.
- Departamento de Agenda Digital. Ministerio de Salud, Chile. Disponible en http://www.estrategiadigital.gob.cl/files/CHILE_libro_azul_salud.pdf [Consultado el 8 de Septiembre de 2010].
- Proyecto "Implementación de un Sistema de Información Integrado para Protección Social en Chile". MINSAL-MIDEPLAN. Disponible en www.who.int/healthmetrics/library/chile_assessment.doc [Consultado el 8 de Septiembre de 2010].
- Torres C, Navas H, Benítez S, Biaggini L, Morales G, Navarro P, et al. Implementación de servicios terminológicos en una red de atención ambulatoria. *Revista esalud.com* 2009. Disponible en archivo.revistaesalud.com/index.php/revistaesalud/article/download/306/636+Implementación+de+servicios+terminológicos+en+una+red+de+atención+ambulatoria [Consultado el 2 de junio de 2011]
- Escobar E, Véjar M, del Pino R. Telephonic transmission of electrocardiograms for early diagnosis of ST elevation Acute Myocardial Infarctions in Chile. *Rev Chil Cardiol* 2009; 28: 73-80.
- Diario Oficial de Chile. 12 de Junio de 2009. Disponible en <http://www.doe.cl/fsumarios/2009-06-12/z120101.pdf> [Consultado el 8 de Septiembre de 2010].
- Lange I, Campos S, Urrutia M, Bustamante C, Alcayaga C, Tellez A, et al. Efecto de un modelo de apoyo telefónico en el auto-manejo y control metabólico de la Diabetes tipo 2, en un Centro de Atención Primaria, Santiago, Chile. *Rev Med Chile* 2010; 138: 729-37.