

# Educación Médica

www.elsevier.es/edumed



## La Informática Biomédica y la educación de los médicos: un dilema no resuelto



Melchor Sánchez Mendiola

Secretario de Educación Médica, Profesor de Carrera Titular B de Tiempo Completo Definitivo, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Recibido el 24 de febrero de 2015; aceptado el 21 de marzo de 2015

### PALABRAS CLAVE

Informática  
Biomédica;  
Tecnologías de la  
información y la  
comunicación;  
*Blended-learning*;  
Desarrollo curricular;  
Educación médica de  
pregrado.

**Resumen** La formación de profesionales de la salud competentes para ejercer en el siglo <sup>xxi</sup> es uno de los principales retos de la educación médica moderna. Las habilidades en Informática Biomédica (IB) son indispensables para la práctica de la medicina de calidad en los entornos actuales de los sistemas de salud. Desafortunadamente hay falta de conocimiento sobre esta disciplina científica en la comunidad de educadores y clínicos. En consecuencia, la IB está relativamente ausente en los planes y programas de estudio de la carrera de medicina y las especialidades.

En este trabajo se revisa el concepto actual de la IB, su relación con otras áreas del saber, sus implicaciones para la práctica y enseñanza de la medicina, así como algunos argumentos que justifican incluirla en los planes y programas de estudio de la carrera de medicina y las residencias médicas. Se describe brevemente una iniciativa curricular sobre el tema en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en la Ciudad de México.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### KEYWORDS

Biomedical  
Informatics;  
Communication and  
information  
technologies;  
*Blended-learning*;  
Curriculum  
development;

### Biomedical Informatics and the education of physicians: An unsolved dilemma

**Abstract** The training of healthcare professionals competent to practice in the <sup>xxi</sup> century, is one of the main challenges of modern medical education. Abilities in Biomedical Informatics (BI) are necessary to practice quality medical care in the current healthcare systems' environment. Unfortunately there is a lack of knowledge about this scientific discipline in the community of educators and clinicians. As a result of these factors, BI is relatively absent from the undergraduate and postgraduate medical curricula.

In this paper the state-of-the-art concepts of BI are reviewed, its relationship with other areas of knowledge, its implications for the practice and teaching of medicine, as well as some arguments that justify its inclusion in the medical career and specialties' residency training pro-

Undergraduate  
medical education

grams. A brief description of a BI curricular initiative at Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Faculty of Medicine in Mexico is presented.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. This is an open access item distributed under the Creative Commons CC License BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

*“La informática tiene que ver con las computadoras lo mismo que la astronomía con los telescopios”*

EDSGER W. DIJKSTRA

ción de la iniciativa de IB en la carrera de médico cirujano de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en México.

## Introducción

Las actividades cotidianas de la vida moderna se han transformado profundamente con el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), Internet y las versiones modernas y portátiles de equipos de cómputo más sofisticados y poderosos. La integración de estos elementos con nuestro trabajo y actividades personales ha permeado a todos los niveles, por lo que cada vez es más difícil delimitar la separación entre un dispositivo de *hardware* y su correspondiente *software*, entre la información y el conocimiento que poseemos individualmente como personas y aquellos que existen de manera difusa en “la nube”. Los dispositivos electrónicos portátiles y su conectividad inalámbrica al saber humano y la “sociedad del conocimiento” se han convertido en verdaderas extensiones de nosotros, y han producido una revolución sin precedentes en la manera como nos comunicamos e interactuamos.

En las últimas décadas, las herramientas de la informática han evolucionado de manera increíble, y hoy utilizamos en muchas de nuestras actividades dispositivos electrónicos que hacen ver a los teléfonos, computadoras y programas que usábamos hace apenas veinte años como reliquias de museo. Los pacientes y los profesionales de la salud no somos ajenos a estos cambios; de una u otra manera utilizamos estas fantásticas herramientas para comunicarnos, adquirir y enviar información, organizar nuestras vidas y desempeñar nuestras actividades profesionales. La práctica efectiva de la medicina depende cada vez más del uso apropiado de la tecnología en los hospitales y en el consultorio, y la sociedad se ha empoderado de manera impresionante al insertar estas herramientas en su arsenal de instrumentos para la adquisición de datos e información, elementos que anteriormente eran territorio exclusivo de los médicos.

A pesar de estos tremendos avances en la tecnología y en las posibilidades de transmisión, almacenamiento y manejo de datos, es frecuente que los profesionales de la salud y la sociedad no tengamos claro el concepto moderno de la Informática Biomédica (IB). Cuando se le pregunta a un médico qué es la IB, generalmente contesta que es el uso de las computadoras en la práctica médica, y no la percibe como una disciplina científica relevante a la práctica y enseñanza de las ciencias de la salud. Le cuesta trabajo imaginar que la IB posee un conjunto definido de conocimientos, modelos teóricos y habilidades técnicas, que se agrupan bajo una misma sombrilla conceptual. El objetivo de este artículo es ofrecer un sucinto panorama del concepto actual de IB, sus implicaciones en la educación médica y una breve descrip-

## ¿Qué es la Informática Biomédica?

Las Ciencias de la Salud forman parte integral de la sociedad del conocimiento, en que la producción, disseminación, interpretación y manejo de datos e información relevantes para la atención médica sobrepasa la capacidad de la mente humana para procesarlas de manera adecuada y oportuna. Los profesionales y estudiantes de las ciencias de la salud requieren buscar, encontrar, recuperar y analizar la información necesaria para la toma de decisiones clínicas y de salud pública de manera oportuna y eficaz, tareas que se pueden beneficiar ampliamente del uso de las herramientas y estrategias de la informática.

¿Qué es la Informática Biomédica?, ¿es solamente el uso de las computadoras en la práctica de la medicina?, ¿es usar procesadores de palabras, hojas de cálculo, bases de datos y PowerPoint para atender pacientes?, ¿es aprender a buscar en Medline, a utilizar el expediente clínico electrónico o a organizar los archivos en nuestras computadoras? Cuando pensamos en informática, lo primero que viene a la mente es el equipo de cómputo (*hardware* y *software*) y, más recientemente, los dispositivos móviles conectados inalámbricamente a la red, que son al mismo tiempo puerta y herramienta para acceder y manejar los datos y la información disponibles en la Red y la misteriosa “nube”. Esta percepción es superficial y fragmentada, y no refleja la compleja realidad de la IB, ya que se limita al uso de las herramientas tecnológicas. El concepto moderno de IB es más amplio y profundo<sup>1,2</sup>.

Algunos autores han propuesto las siguientes categorías de definiciones de IB<sup>1</sup>:

- **Definiciones orientadas a la tecnología de la información:** estas definiciones enfatizan la computadora y la tecnología como las herramientas que definen la disciplina, usando términos como “computación en medicina” y “computación clínica”. Enfocarse en la herramienta, más que en las tareas, hace que esta perspectiva sea inadecuada. ¿Estarían de acuerdo los cardiólogos si definiéramos a la cardiología como “el uso de los estetoscopios en medicina”? ¿los cirujanos si dijéramos que su especialidad es “el uso del bisturí en el quirófano”? ¡Por supuesto que no! Esta visión es demasiado restrictiva, ya que no captura varios de los conceptos de IB que *no* utilizan las computadoras ni la tecnología, como los procesos cognitivos del razonamiento clínico, las heurísticas que utilizamos en decisiones diagnósticas y terapéuticas, la prevención de errores en medicina, entre muchos otros.

- **Definiciones basadas en roles, tareas o dominios:** este modelo se centra en la función de la informática en organizaciones específicas, como informática clínica, de enfermería, de veterinaria, de salud pública. La desventaja de esta perspectiva es que fragmenta la disciplina de IB y obstaculiza las interacciones entre los componentes del equipo de salud (médico, odontólogo, enfermera, etc.). Implica que los proyectos de informática son aplicables y relevantes solo en el área de origen.
- **Definiciones orientadas a conceptos:** se orienta a modelos conceptuales específicos, como el de datos, información, conocimiento y sabiduría. Estas definiciones se enfocan en conceptos más que en las herramientas. Define a la información como “datos + significado”, ya que los datos por sí mismos, sin ser procesados por la mente humana, no forman los puentes necesarios para lograr el conocimiento y eventualmente la pericia y sabiduría<sup>1,3</sup>. En este contexto, la IB trasciende al uso de las herramientas y la tecnología, y se convierte en un concepto más amplio, novedoso y con mayor potencial de aplicación.

La definición más aceptada de IB es de la American Medical Informatics Association (AMIA; [www.amia.org](http://www.amia.org)), la principal organización que agrupa a los expertos mundiales de esta disciplina: “Informática Biomédica es el campo científico interdisciplinario que estudia y persigue el uso efectivo de datos, información y conocimientos biomédicos, para la indagación científica, la solución de problemas y la toma de decisiones, motivada por los esfuerzos para mejorar la salud humana”<sup>2-4</sup>. Esta definición es la actualmente aceptada por las instancias académicas internacionales que se dedican a la investigación y aplicación de esta disciplina, y combina las categorías de definiciones antes mencionadas de rol, tarea o dominio, con la orientada a conceptos (datos, información, conocimiento). Es importante llamar la atención sobre el hecho de que en la definición no aparecen las palabras “computadora” o “tecnología”, lo que significa que la IB se centra en el uso de datos e información para resolver problemas, transformándolos en conocimiento durante el proceso.

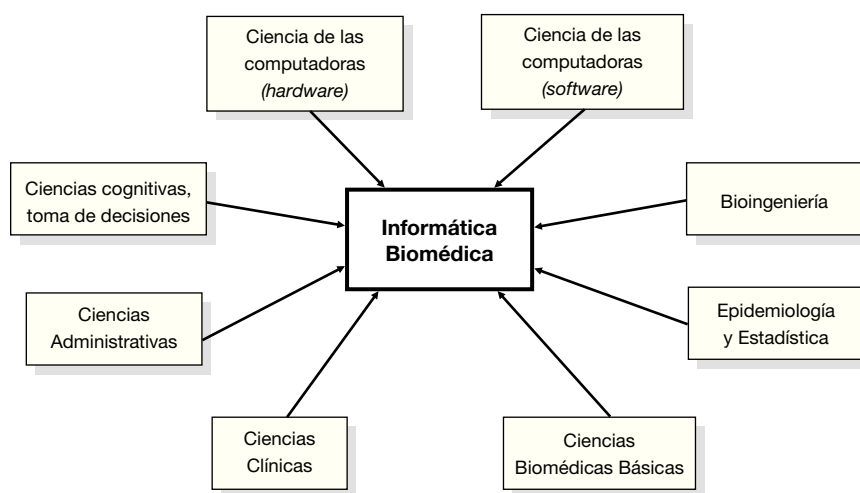
La IB tiene una naturaleza interdisciplinaria, inherente a su origen y desarrollo, ya que convergen en ella diversas ramas del saber humano. En la página de la AMIA hay una sección dedicada a “la ciencia de la informática”, en donde se describen varios aspectos relevantes de la disciplina, y puede descargarse una presentación con el modelo conceptual propuesto (<http://www.amia.org/about-amia/science-informatics>) (fig. 1).

Por otra parte, la IB se integra en un continuo multidimensional, que va desde lo básico con sus respectivas teorías, métodos y técnicas (lo que le otorga la categoría de ciencia), hasta las interacciones bidireccionales con sus múltiples aplicaciones en ciencias de la salud (desde la bioinformática hasta la salud pública). Estas interacciones ocurren dentro de un panorama progresivo, que transita desde los procesos moleculares hasta las aplicaciones poblacionales, como se muestra en la figura 2<sup>2,5</sup>.

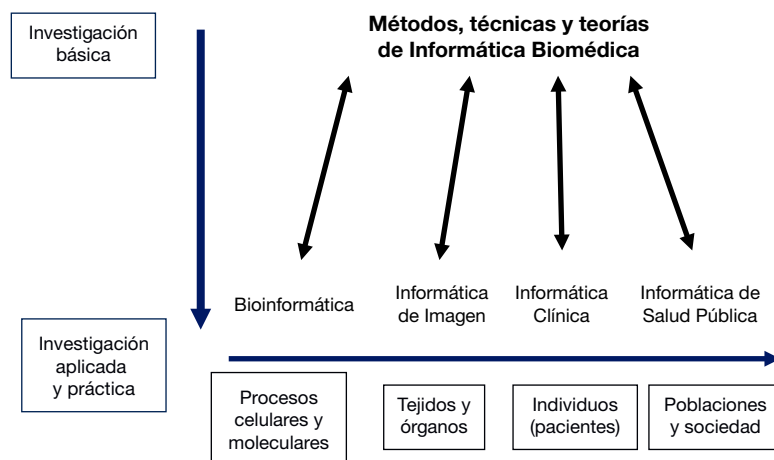
A lo largo de la historia de la IB se han propuesto múltiples términos que describen una u otra de sus áreas. Actualmente, cuando se habla de “Bioinformática”, se refiere específicamente a la informática biomolecular, con aplicaciones en genómica, mientras que lo que anteriormente se llamaba “Informática Médica” se describe ahora como “Informática Clínica”. El término “Informática Biomédica” utilizado en este artículo es un descriptor que engloba a las dos anteriores y todavía más, ya que incluye a la informática en enfermería y en salud pública, entre otras. También se utiliza el término “informática en salud” (*health informatics, e-health*), que generalmente incluye a la informática clínica y la informática en salud pública<sup>6</sup>.

### ¿Debemos enseñar y evaluar informática biomédica en escuelas de medicina y residencias médicas?

La formación de profesionales de la salud competentes para ejercer la medicina en la actualidad constituye uno de los retos más importantes y complejos que enfrentan



**Figura 1** Naturaleza interdisciplinaria de la informática biomédica. Se muestran las disciplinas que convergen en ella. Adaptado de un diagrama provisto por la American Medical Informatics Association. Reproducido por cortesía de la AMIA y el Dr. Edward Shortliffe.



**Figura 2** Informática biomédica en perspectiva, mostrando sus múltiples relaciones con la investigación y la complejidad de los sistemas biológicos. Adaptado de un diagrama provisto por la American Medical Informatics Association. Reproducido por cortesía de la AMIA y el Dr. Edward Shortliffe.

las instituciones educativas y de salud. La competencia en IB ha tenido un auge importante en las últimas décadas, al ser considerada una de las competencias nucleares que debe poseer el médico para ejercer una medicina de calidad en los sistemas de salud<sup>7,8</sup>. A pesar de las contribuciones que la IB ha aportado a la atención de la salud y la investigación básica y clínica, dichos avances no se han acompañado de un incremento proporcional en la presencia curricular de IB en los programas y planes de estudio de las escuelas de medicina y las residencias médicas. Si buscamos intencionadamente los cursos y horas curriculares, dedicados a IB en los mapas curriculares y tablas de contenidos de los programas de formación de médicos, es probable que encontremos pocas señales de la inclusión de esta área del conocimiento en las estructuras formales educativas<sup>4,9</sup>. Lo anterior puede ser por varias razones: lo relativamente joven de esta disciplina; la escasa cantidad de líderes de opinión y “campeones” sobre el tema en los escenarios clínicos y de ciencias básicas; la falta de conocimiento sobre su existencia e importancia; su ausencia relativa en las estructuras organizacionales de educación médica en universidades y hospitales; su percepción como materia “transversal” más que “vertical”, y la falta de percepción social sobre lo que es realmente la IB, entre otras.

La Association of American Medical Colleges (AAMC) de Estados Unidos, que agrupa a las facultades y escuelas de medicina de ese país, recomendó en 1998 que la informática médica se incluyera en el currículo. Desafortunadamente, las escuelas de medicina en prácticamente todo el mundo han mostrado reticencia a añadir cursos u horas de entrenamiento formal a sus ya saturados planes de estudio<sup>7</sup>. Por otra parte, hay una falta de académicos de IB en las escuelas de medicina y hospitales, lo que contribuye a la dificultad de iniciar actividades docentes sobre esta temática, ¿cómo generar productividad académica de IB si no se cuenta con expertos en el tema?, ¿quién va a enseñar IB si no existen las personas con formación y pericia en ello?<sup>6</sup>. Todos estos factores interactúan de manera compleja en las circunstancias locales de cada institución educativa y de sa-

lud, lo que requiere de una aproximación al problema desde múltiples perspectivas y con el apoyo explícito de las autoridades institucionales.

La IB se ha convertido en una de las columnas fundamentales de la calidad en la atención médica en varias partes del mundo, aunque todavía es infrautilizada (o usada inapropiadamente) tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Es necesario difundirla y promoverla en los diversos niveles de las instituciones educativas y de salud, desde la formación de pregrado hasta el posgrado<sup>4,6,10</sup>. Un factor que seguramente detonará una expansión importante de la IB y su inclusión en la enseñanza y práctica de la medicina a nivel internacional es la aprobación en 2011 por el American Board of Medical Specialties de Estados Unidos, de la Informática Clínica como una nueva especialidad<sup>2,11</sup>. Este logro ocurrió después de un largo y complejo proceso que ha contribuido a legitimar a la IB ante la comunidad médica internacional. Como consecuencia de este hito en el desarrollo de la disciplina de IB, se han diseñado las competencias nucleares necesarias para impartirla en programas de educación de posgrado, y se han creado los exámenes para certificar médicos con la especialidad<sup>2</sup>. En diciembre de 2013 recibieron su diploma de certificación como especialistas en Informática Clínica 455 médicos de diversas especialidades, lo que representa un evento importante en la evolución de la IB en las ciencias de la salud (<https://www.amia.org/applications-informatics/clinical-informatics>). Están surgiendo gran cantidad de programas de entrenamiento de posgrado en esta disciplina en todo el mundo, lo que seguramente facilitará la aceptación de la IB como un componente fundamental de la práctica médica moderna.

Por otra parte, hay varios factores de la medicina moderna que contribuyen al desarrollo y crecimiento de la IB: los altos costos de la atención de la salud; la necesidad de apoyo de decisiones en el punto de atención para seguridad del paciente y disminución de errores médicos; la medicina genómica individualizada; el crecimiento explosivo de las publicaciones médicas y de las ciencias biológicas; el crecimiento de los sistemas de información

hospitalarios, con el expediente clínico electrónico centrado en el paciente; los desastres naturales y problemas globales de salud pública; los avances tecnológicos y costos más accesibles del *hardware*; la utilización cada vez mayor de la red y las herramientas de Web 2.0 por médicos y pacientes, entre muchos otros. Actualmente existen múltiples organizaciones profesionales que se dedican al avance y difusión de la IB, así como revistas científicas con arbitraje por pares que publican trabajos de investigación originales sobre estos temas, lo que garantiza que la disciplina continuará creciendo en el futuro cercano (tabla 1).

### Informática Biomédica en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México

La Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con motivo de su más reciente reforma curricular de la carrera de médico cirujano, ha incluido en sus programas de estudio la asignatura de Informática Biomédica para promover el conocimiento de la disciplina y mejorar la formación de los profesionales de la salud que egresan de sus aulas ([www.facmed.unam.mx](http://www.facmed.unam.mx))<sup>12</sup>. En el proceso de cambio organizacional de la reforma curricular, se creó el Departamento académico de Informática Biomédica en la Facultad de Medicina, con presupuesto, instalaciones y personal propios para el desarrollo de la disciplina en nuestra institución.

El curso de IB consiste en sesiones semanales durante dos semestres (34 horas curriculares por semestre), con metodología de “*blended-learning*” en aulas adaptadas específicamente para la asignatura, dirigido a estudiantes de medicina. La descripción detallada del desarrollo curricular y evaluación inicial del curso está publicada en la literatura internacional; invitamos al lector interesado a consultar la referencia original<sup>10</sup>. El contenido de los cursos de IB se basó en una extensa revisión de la bibliografía, incluyendo el libro de texto más importante del tema<sup>13</sup>, las recomendaciones de educación en informática médica de la International Medical Informatics Association (IMIA)<sup>14</sup>, y algunos artículos publicados sobre la enseñanza de IB en ciencias de la salud<sup>2,6,15</sup>. Los contenidos temáticos de la asignatura se listan en la tabla 2.

### Conclusiones

- La IB llegó para quedarse en la práctica y enseñanza de las ciencias de la salud, y su impacto será cada vez mayor en las instituciones de salud y educativas.
- Es importante incluir las competencias de IB en los planes de estudio de pre- y posgrado, tomando en cuenta los modelos educativos locales, los recursos humanos y materiales, y las necesidades particulares de las instituciones.
- Las TIC son herramientas sofisticadas, pero al fin y al cabo solo son herramientas. Deben usarse como suplemento a la toma de decisiones y razonamiento clínico bien sustentados.

**Tabla 1** Organizaciones y revistas periódicas de importancia para la informática biomédica

Nombre	Dirección electrónica
American Medical Informatics Association	<a href="http://www.amia.org">www.amia.org</a>
International Medical Informatics Association	<a href="http://www.imia-medinfo.org">www.imia-medinfo.org</a>
Federación de Informática de la Salud para América Latina y el Caribe	<a href="http://www.imia-lac.net">www.imia-lac.net</a>
Asociación Mexicana de Informática Médica	<a href="http://amim.org.mx">http://amim.org.mx</a>
Society for Medical Decision Making	<a href="http://www.smdm.org">www.smdm.org</a>
Society to Improve Diagnosis in Medicine	<a href="http://www.improvediagnosis.org">www.improvediagnosis.org</a>
Journal of the American Medical Informatics Association	<a href="http://jamia.oxfordjournals.org">http://jamia.oxfordjournals.org</a>
Medical Decision Making	<a href="http://mdm.sagepub.com">http://mdm.sagepub.com</a>
Computers in Biology and Medicine	<a href="http://www.sciencedirect.com/science/journal/00104825">http://www.sciencedirect.com/science/journal/00104825</a> <a href="http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/351/description">http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/351/description</a>
Artificial Intelligence in Medicine	<a href="http://www.aiimjournal.com">www.aiimjournal.com</a>
Journal of Medical Internet Research	<a href="http://www.jmir.org">www.jmir.org</a> <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/224/">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/224/</a>
BMC Medical Informatics and Decision Making	<a href="http://www.biomedcentral.com/bmcmedinformdecismak">www.biomedcentral.com/bmcmedinformdecismak</a>



**Tabla 2** Contenidos temáticos de los cursos de Informática Biomédica del Plan de Estudios de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (www.facmed.unam.mx)

Tema	Subtemas
Introducción a la Informática Biomédica (IB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de informática biomédica (IB)</li> <li>Desarrollo histórico, perspectivas actuales y futuras de la IB</li> </ul>
Conceptos esenciales de IB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos en medicina: almacenamiento y uso</li> <li>Taxonomía de la Información y el Conocimiento (DIKW)</li> <li><i>Hardware y software</i>: estructura y función de las computadoras</li> <li>Tecnologías de la información y la comunicación (TIC)</li> <li>Evaluación de la tecnología</li> </ul>
Bases de datos y bibliotecas médicas digitales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Principales fuentes de información biomédica</li> <li>Herramientas y estrategias para la búsqueda de información biomédica</li> <li>Cienciometría</li> </ul>
Internet y la profesión médica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Historia y definición de Internet, Web 2.0, Salud 2.0</li> <li>Uso de Internet por el profesional de la medicina y los pacientes</li> </ul>
Cibermedicina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expediente clínico electrónico y sistemas de información hospitalaria</li> <li>Informática en Imagenología y Radiología</li> <li>Inteligencia artificial (sistemas expertos)</li> <li>Telemedicina</li> <li>Medicina robótica</li> <li>Simuladores en medicina. Realidad virtual</li> </ul>
Aprendizaje en línea ( <i>e-learning</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>La Generación Net: aspectos sociales y educativos</li> <li>Ambientes virtuales de aprendizaje (AVA)</li> <li><i>Wikis, blogs, podcasts, vodcasts</i>, Twitter, Facebook</li> <li>Uso de la tecnología en presentaciones científicas</li> </ul>
Bioinformática (informática biomolecular)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de bioinformática</li> <li>Aplicaciones en biología molecular, medicina genómica</li> </ul>
Ética de la IB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retos sociales e implicaciones éticas de la IB</li> <li>Aspectos legales de la IB</li> </ul>
Toma de decisiones en medicina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incertidumbre y probabilidad en medicina</li> <li>Heurísticas cognitivas (representatividad, anclaje y ajuste, disponibilidad)</li> <li>Errores y sesgos en el uso de las heurísticas en medicina</li> <li>Teorema de Bayes y sus aplicaciones en medicina</li> <li>Análisis de decisiones clínicas. Árboles de decisiones</li> </ul>
Razonamiento clínico	<ul style="list-style-type: none"> <li>El proceso de razonamiento clínico. Teorías normativas y descriptivas. Procesos no analíticos y analíticos (sistemas 1 y 2), reconocimiento de patrones</li> <li>Generación de hipótesis diagnósticas. Diagnóstico diferencial. Especificidad de caso</li> <li>Uso e interpretación de pruebas diagnósticas</li> <li>Razonamiento terapéutico</li> <li>Errores cognitivos en medicina</li> <li>Práctica clínica estándar</li> <li>El ejercicio clinicopatológico</li> <li>Desarrollo de la pericia. Práctica deliberada. De novato a experto en medicina</li> </ul>
Apoyo de decisiones clínicas por computadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas y programas para apoyo de decisiones en medicina</li> <li>Ejemplos: DxPlain, ISABEL</li> <li>Programas para apoyo de decisiones en pacientes</li> </ul>

## Bibliografía

- Bernstam EV, Smith JW, Johnson TR. What is biomedical informatics? *J Biomed Inform.* 2010;43:104-10.
- Kulikowski CA, Shortliffe EH, Currie LM, Elkin PL, Hunter LE, Johnson TR, et al. AMIA Board white paper: definition of biomedical informatics and specification of core competencies for graduate education in the discipline. *J Am Med Inform Assoc.* 2012;19:931-8.
- Sánchez-Mendiola M, Martínez-Franco AI, editores. *Informática Biomédica*. 2.ª ed. México, D.F.: UNAM-Elsevier; 2014.
- Shortliffe EH. Biomedical informatics in the education of physicians. *JAMA.* 2010;304:1227-8.
- Kuhn KA, Knoll A, Mewes H-W, Schwaiger M, Bode A, Broy M, et al. Informatics and medicine-from molecules to populations. *Methods Inf Med.* 2008;47:283-95.
- Hersh W, Margolis M, Quirós F, Otero P. Building a health informatics workforce in developing countries. *Health Aff.* 2010;29:275-8.
- AAMC Medical Informatics Advisory Panel. *Medical Schools Objectives Project. Contemporary Issues in Medicine: Medical Informatics and Population Health.* Washington, DC: Association of American Medical Colleges; 1998. p. 1-15.

8. IOM Committee on the Health Professions Education Summit. Chapter 3. The Core Competencies Needed for Health Care Professionals. En: Greiner AC, Knebel E, editores. Health Professions Education: A Bridge to Quality. Institute of Medicine. Washington, DC: National Academies Press; 2003. p. 5-73.
9. Stead WW, Searle JR, Fessler HE, Smith JW, Shortliffe EH. Biomedical informatics: changing what physicians need to know and how they learn. *Acad Med*. 2011;86:429-34.
10. Sánchez-Mendiola M, Martínez-Franco AI, Rosales-Vega A, Villar-Chulin J, Gatica-Lara F, García-Durán R, et al. Development and implementation of a biomedical informatics course for medical students: challenges of a large-scale blended-learning program. *J Am Med Inform Assoc*. 2013;20:381-7.
11. Detmer DE, Shortliffe EH. Clinical informatics: prospects for a new medical subspecialty. *JAMA*. 2014;311:2067-8.
12. Sánchez-Mendiola M, Durante-Montiel I, Morales-López S, Lozano-Sánchez R, Martínez-González A, Graue-Wiechers E. Plan de Estudios 2010 de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Gac Med Mex*. 2011;147:152-8.
13. Shortliffe EH, Cimino JJ. *Biomedical Informatics: Computer Applications in Healthcare and Medicine*. 4.ª ed. London: Springer-Verlag; 2014.
14. Mantas J, Ammenwerth E, Demiris G, Hasman A, Haux R, Hersh W, et al. Recommendations of the International Medical Informatics Association (IMIA) on Education in Biomedical and Health Informatics. *Methods Inf Med*. 2010;49:105-20.
15. Patel VL, Yoskowitz NA, Arocha JF, Shortliffe EH. Cognitive and learning sciences in biomedical and health instructional design: A review with lessons for biomedical informatics education. *J Biomed Inform*. 2009;42:176-97.