

## Universidad versus Bioinformática: una historia de amor y odio

Òscar Coltell\*<sup>1</sup>, Dolores Corella\*\*, Ricardo Chalmeta\*

\*: Grupo de Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS). Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Universitat Jaume I, Castellón.

\*\* : Unidad de investigación en Epidemiología Genómica y Molecular. Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universitat de Valencia. Valencia

### Resumen

**Objetivo:** Actualmente, en las universidades españolas no se está ofertando formación de envergadura en Bioinformática, sea como cursos de postgrado o programas de master, o sea como formación de personal investigador. En cambio, la situación científica en España está demandando ya científicos y profesionales formados en Bioinformática, puesto que las propias acciones estratégicas de I+D+I oficiales priman los aspectos y aportaciones bioinformáticas. Sin embargo, los bioinformáticos no se forman en pocos días, sino en un tiempo bastante más largo dada la gran evolución que ha sufrido la disciplina y la gran cantidad de conocimientos a dominar. Dado que la responsabilidad de la formación superior está asumida por las universidades, es lógico pensar que la formación reglada de los bioinformáticos debe realizarse bajo la tutela de las universidades, pero contando con la colaboración equitativa de instituciones de investigación y otros organismos. Por lo tanto, este trabajo presenta una propuesta para el diseño de una línea formativa (e investigadora) universitaria con el objetivo de preparar científicos y profesionales en Bioinformática.

**Metodología:** Se ha estudiado la situación universitaria nacional, teniendo en cuenta las recientes políticas para los programas de estudios de calidad y armonización europea. Se ha estudiado la estructura y contenido de propuestas de cursos, estudios, masters y programas de doctorados en Bioinformática. Y se han aplicado las técnicas de diseño de programas de estudio en la universidad pública.

**Resultados:** Se presenta un Modelo de Formación en Bioinformática en el rango de estudios universitarios que propone varias etapas sucesivas de implantación: en tercer ciclo y/o master, y en primer y segundo ciclos. Con ello se pueden cubrir las demandas diversificadas de técnicos bioinformáticos (titulados de primer ciclo), ingenieros bioinformáticos (titulados de segundo ciclo) y científicos bioinformáticos (doctores).

**Discusión:** La propuesta que se presenta está basada principalmente en el diseño del plan de formación correspondiente a una de las redes de investigación que han sido aceptadas para su financiamiento dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) para el periodo 2003-2006, en el área de Biomedicina, denominada G03/160 "INBIOMED. Plataforma de almacenamiento, integración y análisis de datos clínicos, genéticos, epidemiológicos e imágenes orientada a la investigación sobre patologías". Su coordinador es el Dr. Fernando Martín, del Instituto de Salud Carlos III.

### Palabras Clave

Formación en Bioinformática, Universidad Española, Modelo de Formación en Bioinformática, Plan de Investigación Científica, Bioinformática, Red Tecnológica de Investigación en Salud.

<sup>1</sup> Autor de contacto: Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos. U. Jaume I. Campus de Riu Sec, s/n. 12071-Castellón. [coltell@lsi.uji.es](mailto:coltell@lsi.uji.es). Tel. 964-728314. Fax. 964-728435.

## 1. Antecedentes

Una de las consecuencias del Proyecto del Genoma Humano (HUGE en inglés) ha sido el surgimiento de nuevas disciplinas y de nuevos planteamientos interdisciplinarios para científicos que antes solamente trabajaban en un campo extremadamente restringido (Sthefanopoulos, 2000), sobre todo de la Biología Molecular. Además, los resultados directos no han sido más que una parte de todas las aportaciones a la comunidad científica y a la sociedad en general (Backofen Et al., 2001).

La Bioinformática es una de estas nuevas disciplinas surgidas con el HUGE. En esta disciplina se maneja información fundamentalmente de origen biológico, pero también de otras fuentes. Por lo cual hay varios tipos de científicos implicados, como biólogos moleculares, botánicos, zoólogos, arqueólogos, médicos, epidemiólogos, farmacéuticos, etc., así como científicos de la computación e ingenieros informáticos. Se puede definir la Bioinformática como una disciplina científica y tecnológica en la que interaccionan en armonía los planteamientos investigadores de la Biología Genética y Molecular, con los enfoques metodológicos y tecnológicos de la Ciencia de la Computación y la Ingeniería Informática, para la obtención y gestión del conocimiento biológico genómico y proteómico. Por lo tanto, esta disciplina es la convergencia multidisciplinar de la biología molecular, la genómica, la proteómica, las ciencias biomédicas, las ciencias de la computación, las matemáticas, la física y la estadística, donde, al menos un científico biólogo y otro científico informático, colaboran estrechamente para alcanzar un objetivo común, para lo cual necesitan un lenguaje común y, además, aprender uno del otro los respectivos conocimientos fundamentales.

### 1.1. La formación de la Bioinformática

En la actualidad no existe prácticamente ningún programa de Bioinformática en la universidad española, ni como titulación de primer o segundo ciclo, ni como programa de doctorado (al menos no se ha encontrado información de ninguna iniciativa al respecto). Esto es debido en parte a la corta historia de la disciplina en el mundo, apenas cuatro años (y algunos más si se consideran sus antecedentes como la Biología Computacional), y a que España quedó fuera del HUGE y proyectos asociados, por decisiones políticas tomadas antes de iniciarse dichos proyectos.

Como excepción, en la Universidad Autónoma de Madrid se ofrece un Curso de Doctorado en Bioinformática (datos de abril de 2002) dirigido por los doctores Alfonso Valencia (Centro Nacional de Biotecnología), Joaquín Dopazo (Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas) y Paulino Gómez (Centro de Astrobiología) (CDB-UAM, 2002). Otro organismo que ha impartido algún curso es el Instituto Carlos III a través de la Unidad de Bioinformática, cuyo responsable, el Dr. Fernando Martín, organizó en 2001 unos cursos de Bioinformática sin que hayan tenido continuidad por diversas circunstancias (ISCIH, 2001).

Existen también ofertas de cursos privados, como el Master en Bioinformática, el "I Curso Práctico de Programación para científicos", el "I Curso Práctico de Administración de sistemas Bioinformáticos", el "I Curso Teórico-Práctico de Bioinformática para DNA arrays", el "I Curso Teórico-Práctico de Bioinformática avanzada", y el "II Curso Teórico/práctico de Bioinformática", todos ellos de Alma Bioinformatics, S.L (Alma, 2003). También hay ofertas de empresas spin-off () como el "Curso de Introducción a la Bioinformática" de e-BioIntel (e-BioIntel, 2003).

Por otra parte, hay otras ofertas de organismos docentes oficiales como cursos de postgrado. Por ejemplo, el “Diploma de Postgrado en Bioinformática” del Servicio de Educación Física y Deportes de la Universidad de Valencia, desarrollado a través de ADEIT (Fundación Universidad Empresa de la Universidad de Valencia) (ADEIT, 2003). Estos cursos tienen antecedentes en el Servei de Bioinformática de la Universitat de Valencia que entre 1992 y 1996 ha impartido los cursos de postgrado “Utilización de redes y bases de datos en Biología Molecular” (I, II y III), y de doctorado “Análisis de secuencias de ácidos nucleicos” (SB-UV, 1996).

También se deben tener en cuenta los cursos que ofertan organismos internacionales pero que se desarrollan en España. Por ejemplo, el European Molecular Biology Laboratory (EMBL) a través de la EMBnet oferta algunos cursos internacionales, como el EMBnet International Course on Bioinformatics for System Managers y el EMBnet International Course on Bioinformatics (EMBnet, 1999); o cursos locales, como Bioinformática e Introductory Molecular Biology Computing (EMBnet, 1999).

Fuera de España hay una oferta bastante larga de cursos cortos, cursos de postgrado, masters y programas de doctorado en torno a la Bioinformática. Por ejemplo, están las ofertas del Weizmann Institute of Science de Israel (Weizmann, 2003), de la Rockefeller University (Rockefeller-U, 2003), de la Stanford University (Stanford-U, 2003) y otros muchos que se han recogido en páginas Web (Web-1, 2003) y (Web-2, 2003). Con respecto a programas de doctorado, son muy conocidos los que oferta la Boston University (también master), la George Mason University y la University of Pennsylvania. El Instituto Pasteur de Francia ofrece unos cursos de Bioinformática con la colaboración de las universidades Paris VI «Pierre et Marie Curie» y Paris VII «Denis Diderot», con la categoría de títulos universitarios (Web-3, 2003).

## 1.2. Los problemas de la formación en Bioinformática

De la atenta revisión de las referencias anteriores respecto de la formación en Bioinformática en España, se puede deducir que no existe un enfoque formativo que sea global, permanente y dirigido a formar profundamente especialistas profesionales en Bioinformática. Por el contrario, se trata de ofertas que cubren las necesidades puntuales actuales y que explotan la demanda del mercado en estos temas.

Es necesario, por tanto, que la universidad española y los organismos oficiales estatales que tienen la responsabilidad de la educación superior, tomen conciencia de que nuestro país podrá consolidarse en la investigación y desarrollo en Bioinformática, no sólo inyectando financiamiento en grandes proyectos, sino también planificando la preparación universitaria de quienes vayan a asumir dichos proyectos o vayan a sustituir a la generación actual de investigadores que, como pioneros en la disciplina, provienen de distintas áreas.

Por tanto, el **objetivo** de este trabajo es el planteamiento de un modelo formativo en Bioinformática de carácter global y que cubra todos los ciclos académicos que se pueden impartir en la universidad, es decir, Primero, Segundo y Tercer ciclo. Además, el Tercer ciclo deberá ser un programa único, que no dependa de un único organismo público, sea universidad o instituto de investigación, sino que sea un plan distribuido y co-impartido por varios de ellos pero coordinado por uno solo.

En la sección 2 se describen brevemente los elementos conceptuales, enfoques metodológicos y técnicas utilizados en el diseño del modelo propuesto. En la sección 3 se describe la propuesta de modelo formativo en Bioinformática. Y en la sección 4 se expresan las conclusiones obtenidas.

## 2. Material y métodos

Se ha tomado como marco instruccional el Modelo Instruccional de la Situación Educativa (MISE) (F. Rivas, 1997). Este es un modelo sistémico que permite estudiar el proceso Enseñanza/Aprendizaje que se produce en la situación educativa (SE), tanto universitaria como no universitaria, desde donde el contexto universitario donde, a partir de una clase universitaria, se pueden obtener prescripciones u orientaciones dirigidas a mejorar la práctica educativa (Doménech, 1999). Por una parte, este modelo está integrado por cinco principios que organizan de forma sistémica, secuencial y jerárquica el desarrollo de todo el proceso instruccional implementado en el aula (Figura 1). Por la otra parte, a estos principios se asocia un comportamiento interactivo entre los elementos Profesor, Contenido y Estudiante, con diferente peso y responsabilidad en cada principio, para que el proceso educativo sea eficaz

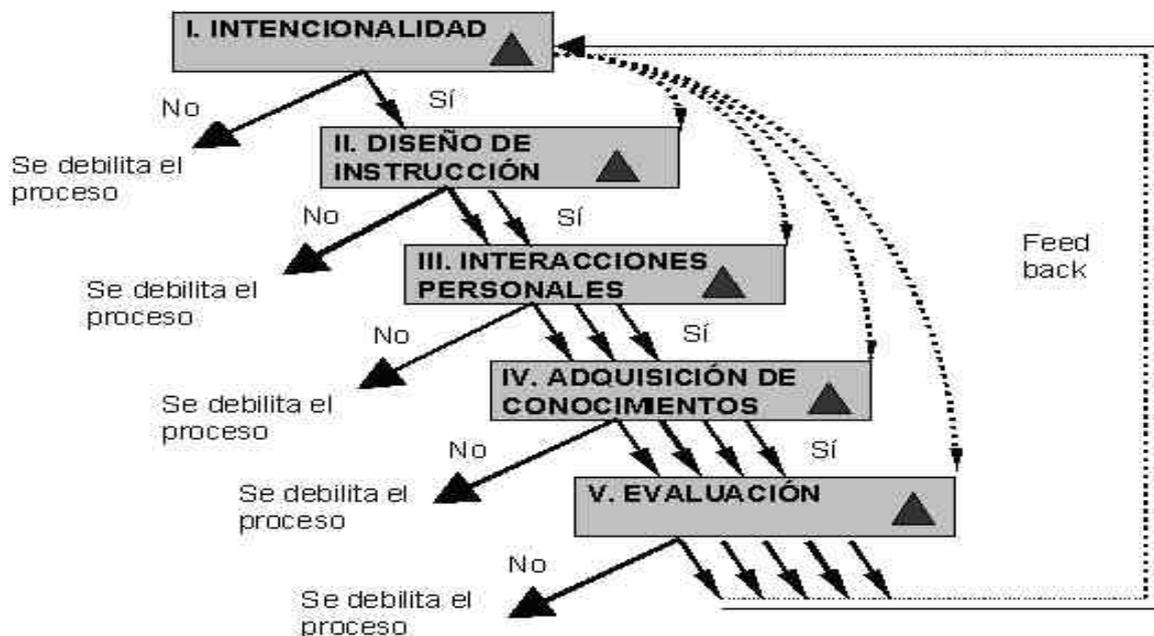


Figura 1. Diagrama de flujo de los Principios del MISE (Doménech, 1999)

## 3. Diseño curricular en Bioinformática

La situación científica actual en España con respecto de la Bioinformática es que hay una fuerte carencia de científicos y profesionales suficientemente formados. Por otra parte, las propias acciones estratégicas de I+D+I oficiales (Ministerio de Ciencia y Tecnología y Ministerio de Sanidad) de los últimos dos años priman los aspectos y aportaciones bioinformáticas. Sin embargo, partiendo de la nada los bioinformáticos no se forman en pocos días, sino que hace falta un ciclo formativo serio y duradero compuesto de varios cursos. Sin embargo, los autores creen que se puede recuperar el terreno perdido en pocos años a través de la implantación gradual de distintas iniciativas de formación supeditadas todas ellas a un plan director único. También se puede contar con la capacidad de adaptación de los científicos españoles, y la capacidad de aprendizaje de los alumnos y titulados interesados en llegar a ser profesionales en Bioinformática.

Dado el carácter multidisciplinario de la Bioinformática y el amplio espectro de aplicación de la misma, las necesidades de formación en esta disciplina son muy diversas y exigen distintos niveles de profundidad. Por ejemplo, para actuar de bioinformático de soporte en un laboratorio de investigación genómica o proteómica, ejerciendo las labores de administración y mantenimiento de sus sistemas, no es necesario ser doctor, y quizá ni siquiera ingeniero superior (o ingeniero master).

Sin embargo, el diseño y gestión de un proyecto de desarrollo de sistemas bioinformáticos debe exigir que se responsabilice un ingeniero superior. Y el diseño, desarrollo y difusión de estudios experimentales en genómica y proteómica debería concurrir con la colaboración de un doctor. Por supuesto, no se trata de fijar unos perfiles profesionales rígidos a imagen y semejanza de la función pública, sino de establecer los criterios funcionales que determinan la necesidad de un profesional con un grado de formación determinado.

Por lo tanto, en esta sección se va a estudiar una propuesta de modelo docente intentando responder a la siguiente batería de preguntas: ¿qué se necesita?, ¿de qué se parte?, ¿qué se puede hacer?, ¿qué se propone?, ¿quién? ¿cómo? ¿dónde?.

### 3.1. Necesidades científicas y profesionales

En esta subsección se intenta responder a la pregunta ¿qué se necesita? La Bioinformática debe solucionar multitud de problemas que están relacionados con materias clásicas en Informática como organización y planificación, diseño y desarrollo de sistemas de información, adquisición de recursos, seguridad física y lógica, protección de datos, calidad de servicio, rendimiento y eficiencia, etc. Pero también hay otros que implican otras materias como bioética, metodología científica, protocolos experimentales, estructuración y análisis de datos, genómica, proteómica, tecnologías de micromatrices de ADN, etc. Así, en la formación de un bioinformático concurren fundamentalmente materias de Informática y de Biología Molecular, e incluso de Biomedicina en general. Por lo tanto, en el diseño curricular de la Bioinformática se debe tener en cuenta esta peculiaridad, así como que a la misma pueden llegar personas formadas en otras titulaciones, como Ciencias de la Salud, Ciencias Biológicas, etc.

### 3.2. Experiencia previa

En esta subsección se intenta responder a la pregunta ¿de qué se parte? Dada la oferta de cursos de formación, programas de master y doctorado que se ha mencionado en la subsección 1.1, afortunadamente no es necesario partir de cero. Se trata de hacer un análisis de su estructura y contenido y así aprovechar lo necesario en un nuevo diseño.

Otro aspecto a considerar es la existencia de científicos ya preparados y en formación en los institutos de investigación creados hace poco tiempo, como el Centro Nacional de Biotecnología (CNB), el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) y el Centro de Astrobiología (CAB). Estos científicos ya están colaborando en programas de formación en Bioinformática, como se ha mencionado en la subsección 1.1.

En la universidad española hay también parte del profesorado y otros tipos de personal docente e investigador (PDI) que está realizando periódicamente estancias de investigación en el extranjero y, además, mantiene estrecha colaboración con grupos, universidades e instituciones de investigación extranjeras en el campo de la Bioinformática. Estos PDI son los que suelen concurrir a las convocatorias de subvenciones de proyectos de investigación dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I). Su experiencia investigadora puede ser muy valiosa a la hora de asignar recursos en el plan de formación.

Finalmente, se puede disponer de la colaboración de gran cantidad de científicos españoles que trabajan en el extranjero. Su experiencia investigadora, técnica y de gestión de proyectos de investigación y docencia de alto nivel se puede aprovechar en varios sentidos. Ellos tienen los recursos y los criterios necesarios para contar con su aportación, sea directamente colaborando en docencia, sea indirectamente como evaluadores y supervisores de programas docentes.

### 3.3. Planteamiento inicial

En esta subsección se intenta responder a la pregunta ¿qué se puede hacer? Una vez revisados los elementos y la experiencia de que se puede disponer directa o indirectamente, se proponen las siguientes iniciativas a cumplir en distintas etapas:

- Establecer un sistema estructurado de perfiles profesionales y de funciones asignadas a cada perfil. De este sistema se pueden extraer los criterios para demandar los distintos tipos de bioinformáticos.
- Establecer los objetivos de un plan director global de formación de la Bioinformática en España.
- Establecer los perfiles de alumnos que pueden acceder a la formación en Bioinformática.
- Diseñar los perfiles de los graduados en Bioinformática en función de las necesidades mencionadas anteriormente.
- Revisar las ofertas de formación existentes, tanto en España como en el extranjero, para aprovechar la experiencia y diseñar programas de formación adecuados a los medios y recursos disponibles en la universidad española.
- Aprovechar la experiencia de científicos españoles que trabajan en el extranjero, en forma de colaboraciones directas como docentes, o en forma de colaboraciones indirectas como consultores de diseño de programas o como evaluadores y supervisores de la ejecución de programas.
- Aprovechar también la experiencia de científicos españoles que trabajan en España y que colaboran habitualmente con instituciones extranjeras. En este caso, si los científicos están adscritos a universidades, se pueden implicar directamente en la preparación de programas y en la enseñanza de contenidos. Si por el contrario, los científicos están adscritos a otras instituciones, se puede contar con su colaboración como docentes, consultores o supervisores.
- Establecer los contactos necesarios con universidades, centros de investigación y órganos oficiales responsables de la educación, con el objeto de conseguir el apoyo oficial y unánime para poner en marcha un plan de formación en Bioinformática global y de calidad. Dada la importancia de lo que se quiere proponer, es necesario el acuerdo de los distintos actores sociales y académicos.

### 3.4. Propuesta general

En esta subsección se intenta responder a la pregunta ¿qué se propone? Los recursos de que se dispone en la actualidad en España para investigar y formar en Bioinformática son una fracción de los que tienen los países que participaron en el HUGE y en proyectos sucesores (HAPMAP), como EEUU, Canadá, Japón, Francia, Alemania, Gran Bretaña y China. Por lo tanto, no se puede pensar en planes de formación cuyos objetivos pretendan ser los de estos países. Tampoco los recursos para formación son los mismos que estos países. Sin embargo, la capacidad profesional para la docencia, la investigación y la gestión en España está suficientemente demostrada. Más que grandes presupuestos se necesita voluntad de evolucionar y disponibilidad para administrar lo que se tiene e ir aportando paulatinamente más recursos a la Bioinformática por medio de un esfuerzo continuado de varios años.

Entonces, se propone un *plan director para la formación en Bioinformática* que comprenda todos los ciclos académicos universitarios con el objetivo fundamental de conseguir personal bioinformático formado adecuadamente a distintos niveles para distintos perfiles profesionales. Estos perfiles son los siguientes: Técnico en Bioinformática, Ingeniero en Bioinformática y Doctor en Bioinformática. El *Técnico en Bioinformática* debe ser un profesional que esté preparado para funciones muy técnicas y específicas, como programación, administración de sistemas de laboratorio, mantenimiento de sistemas bioinformáticos, etc. El *Ingeniero en Bioinformática* debe asumir otras funciones relativas al diseño, desarrollo y gestión de proyectos bioinformáticos, diseño de sistemas bioinformáticos, etc. Y el *Doctor en Bioinformática*, debe asumir además funciones de carácter más científico, como por ejemplo, el diseño y desarrollo de proyectos de investigación, la colaboración con otros científicos, la dirección científica de unidades organizativas, etc.

Como se puede deducir, la preparación académica para cada uno de estos perfiles no debería ser la misma. Por lo tanto, se propone que cada uno de los perfiles esté asociado a un ciclo académico distinto como se muestra en la Figura 2. Los estudios de Primer ciclo deben producir Técnicos en Informática

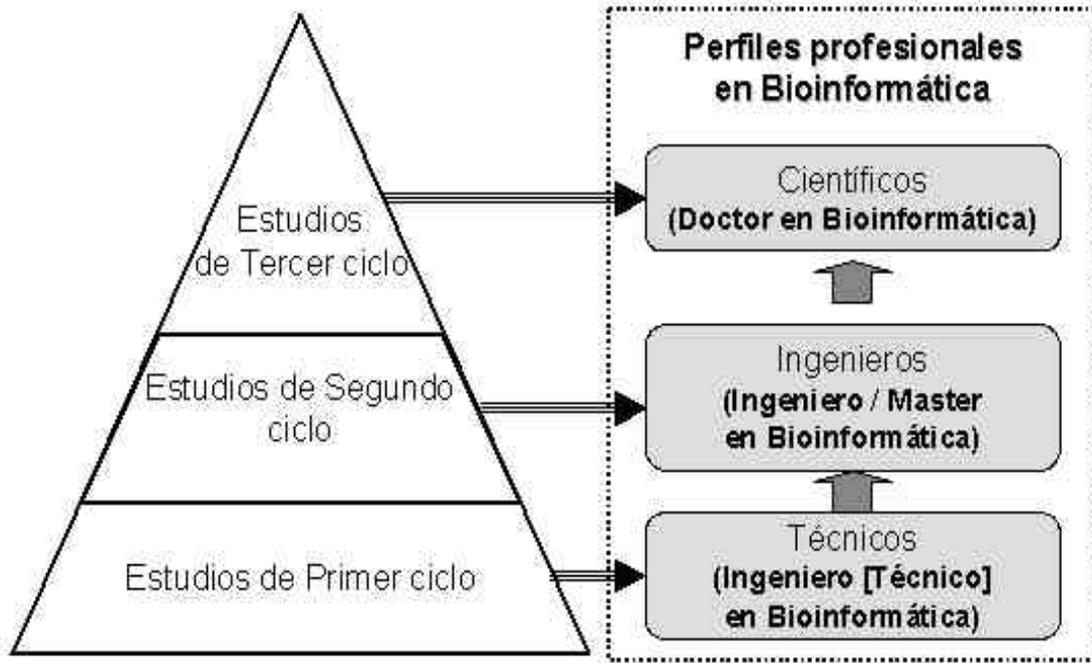


Figura 2. Esquema general del plan director para la formación en Bioinformática

Los estudios de Segundo ciclo deben producir Ingenieros en Informática. Y los estudios de Tercer ciclo deben producir Doctores en Informática. El modelo propuesto se deberá atener también al diseño curricular que se quiere homologar en Europa, denominado Espacio Europeo de Enseñanza Superior (MECyD, 2003). Así, el Primer ciclo consta de cuatro años, con el título de Ingeniero en Bioinformática; el Segundo ciclo se compone de dos años, con el título de Ingeniero Master en Bioinformática; y el Tercer ciclo de dos años más, obteniéndose el título de Doctor en Informática. Estas denominaciones son provisionales y estarán sujetas a las disposiciones oficiales que se publiquen en su momento.

En este plan director no se puede olvidar la concurrencia de posibles alumnos procedentes de otras titulaciones, puesto que ello será una realidad manifiesta durante el periodo de implantación de los estudios correspondientes (Figura 3). Independientemente del acceso desde la enseñanza secundaria a los estudios de Primer ciclo, que no es el objeto de este trabajo, a los estudios de Segundo ciclo podrán llegar alumnos de Ingeniero en Bioinformática e Ingeniero Técnico en Informática. Estos últimos deberían pasar previamente por un curso puente porque su formación solamente se compone de tres años. Esta situación cambiará cuando se homologuen todas las titulaciones medias.

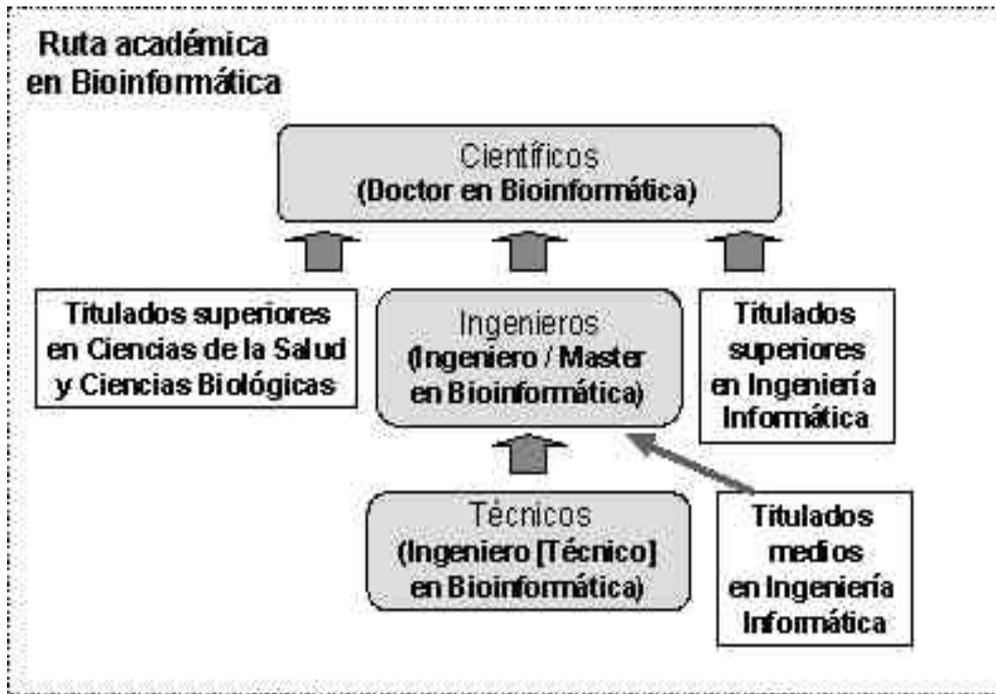


Figura 3. Esquema general de la ruta de acceso a la formación en Bioinformática

Y a los estudios de Tercer ciclo podrán llegar alumnos de Ingeniero Master en Bioinformática y e Ingeniero Técnico en Informática, Ingeniero (Superior) en Informática y titulados superiores en Ciencias de la Salud (Medicina y Farmacia) y Ciencias Biológicas (sobre todo biólogos moleculares, genetistas, etc.) También podría considerarse el acceso de titulados en Bioquímica.

El resto de disciplinas de ingeniería tiene una formación más adecuada a una titulación que ya se está poniendo en marcha, denominada Bioingeniería, con unos objetivos distintos de la Bioinformática, y por ello no se han tenido en cuenta en la ruta propuesta. Sin embargo, también podrían ser incorporadas con la adecuada preparación previa, sea a través de un curso puente, o con otras alternativas.

### 3.5. El modelo formativo por ciclos

La descripción detallada del plan director por ciclos exigiría una extensión que no es posible en este trabajo. Por tanto, solamente se expone lo esencial de cada uno de ellos. También se ha tenido en cuenta algún estudio de la situación de la universidad española (Valcárcel, 2002).

En primer lugar, los estudios de Primer ciclo se estructuran en cuatro cursos tal y como se puede ver en la Figura 4. En el primero se impartirían materias básicas y comunes. En el segundo curso se impartirían las materias básicas que completan las de primer curso, pero teniendo en cuenta las afinidades de algunas de ellas con las intensificaciones que empiezan en el siguiente curso. Los cursos tercero y cuarto sirven para desarrollar las intensificaciones. En la Figura 4 se proponen tres intensificaciones relacionadas respectivamente con programación, administración y mantenimiento de sistemas, y desarrollo de tecnologías en genómica y proteómica. Sin embargo, el planteamiento detallado de las materias a impartir y el análisis posterior de las necesidades profesionales puede dar lugar a otra estructura distinta. Esta consideración puede ser aplicable a resto de ciclos.

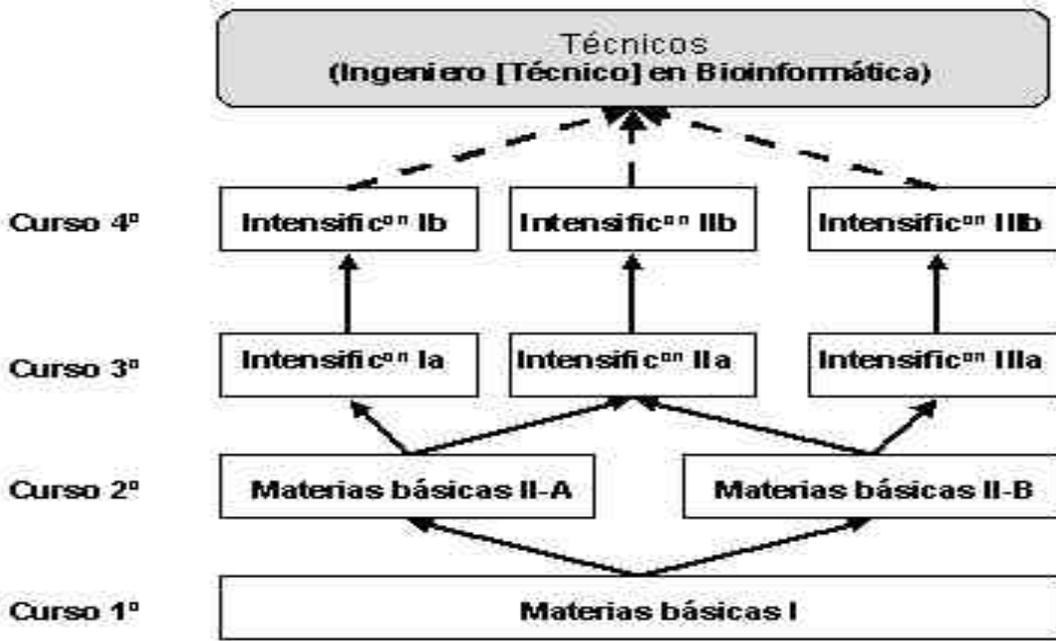


Figura 4. Esquema general de los estudios de Primer ciclo en Bioinformática

En segundo lugar, los estudios de Segundo ciclo se estructuran en dos cursos, tal y como se puede ver en la Figura 5, cuyo ordinal es la continuación de los estudios anteriores. En el quinto curso se impartirían materias básicas, por una parte, para fundamentar las intensificaciones del curso sexto, y por la otra, para completar la formación del ciclo anterior. Las intensificaciones propuestas en este ciclo tienen relación respectivamente con proyectos de ingeniería, administración de la seguridad y protección de datos y de la calidad, y diseño de tecnologías bioinformáticas.

Hay que tener en cuenta que los titulados de segundo ciclo deben estar preparados para asumir funciones de dirección técnica de unidades organizativas en las empresas e instituciones, asesoramiento tecnológico a la investigación en genómica y proteómica, y cualquier otra función asociada a un graduado de nivel master

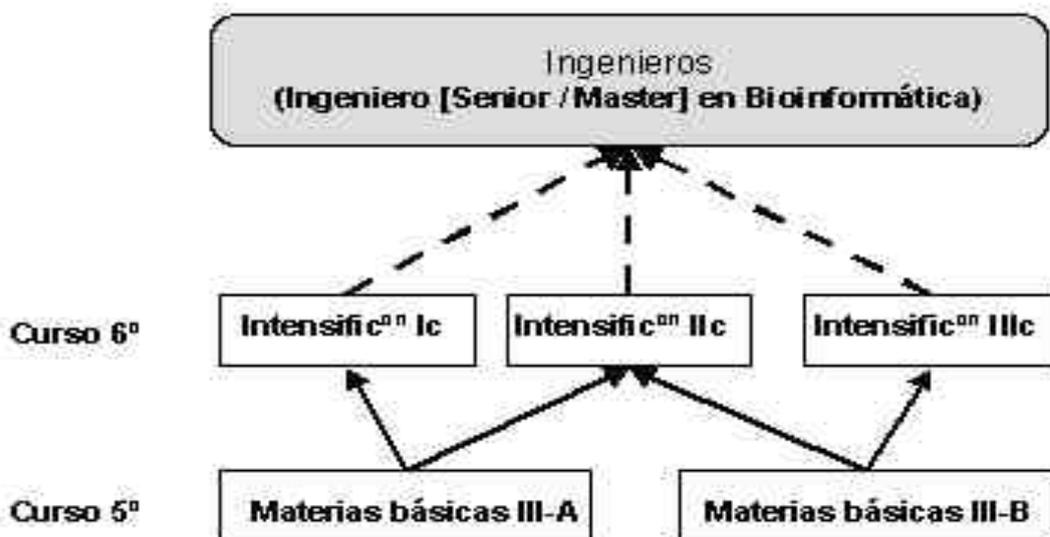


Figura 5. Esquema general de los estudios de Segundo ciclo en Bioinformática

Finalmente, los estudios de Tercer ciclo también se estructuran en dos cursos, tal y como se puede ver en la Figura 6, cuyo ordinal es la continuación de los estudios anteriores. La diferencia en este ciclo es que no hay materias básicas comunes sino especializaciones. Estas especializaciones pueden ser mucho más flexibles que en los ciclos anteriores para reaccionar rápidamente a la evolución científica en Bioinformática y disciplinas asociadas. Por lo tanto, la configuración de las especializaciones se puede conseguir por medio de la inclusión o exclusión de materias concretas a un esquema general según las necesidades científicas de épocas determinadas. Por supuesto, el mecanismo de inclusión y exclusión debe atenerse a unos criterios contemplados en el plan director y no a la decisión personal y puntual de profesores y departamentos

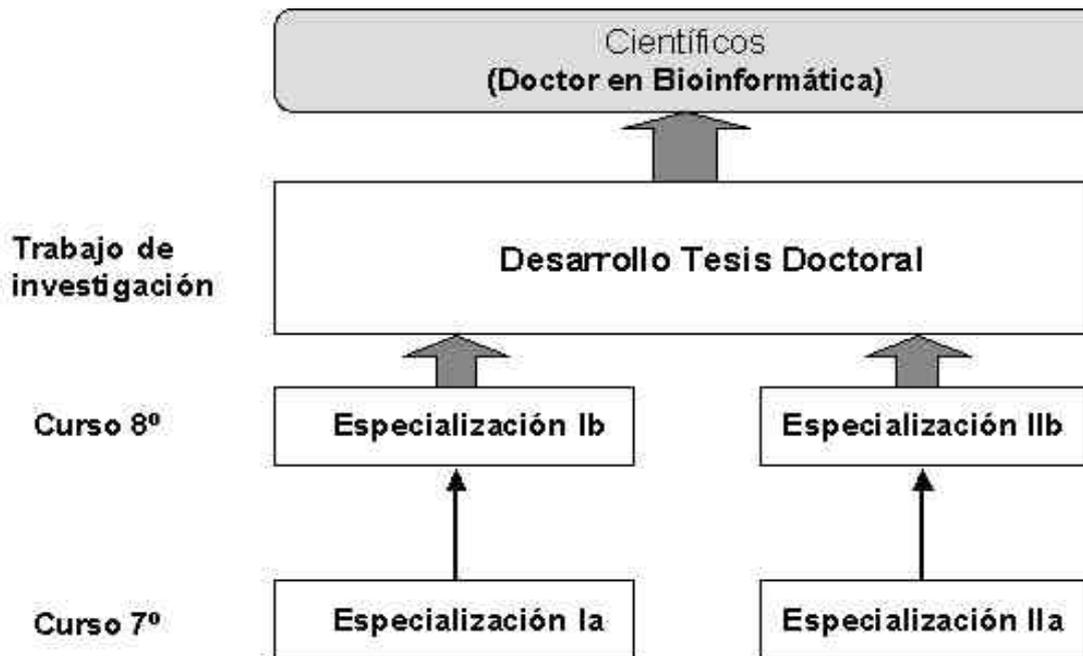


Figura 6. Esquema general de los estudios de Tercer ciclo en Bioinformática

En el plan director debe incluirse también el diseño de la secuencia de implantación de los ciclos mencionados. Los autores proponen, dada la situación actual en España, que la secuencia sea la inversa a la que normalmente se ha seguido. Es decir, en primer lugar debería ponerse en marcha el Doctorado en Bioinformática. Existe ya uno (CDB-UAM, 2002) y se dispone de personal docente y de medios para desarrollarlo en algunas universidades. Cuando ya se tenga profesorado suficiente y con preparación específica, se puede iniciar la implantación del Master en Bioinformática, captando los alumnos de las titulaciones afines (Figura 2). Y finalmente, cuando ya se tuviera una cultura universitaria en Bioinformática apoyada por la titulación superior y el doctorado, se podría implantar el Primer ciclo.

### 3.6. La metodología docente

En base a la propuesta de los autores para implantar en primer lugar los estudios de tercer ciclo, se expone en esta sección la metodología docente que debería regir el desarrollo del mismo. Entonces, se ha adoptado un enfoque docente basado en el modelo instruccional teórico denominado MISE (Modelo Instruccional de la Situación Educativa) (Doménech, 1999), donde se plantea fundamentalmente la interacción entre profesor, asignatura y estudiante, y da especial importancia al proceso de enseñanza / aprendizaje con distintos niveles de objetivos: metas de la titulación, generales de la asignatura y operativos de cada unidad instruccional. En el caso que se describe en esta sección, se establecen las siguientes equivalencias: la titulación es el programa formativo, la asignatura es cada uno de los módulos de cursos del programa por centro, y la unidad instruccional es cada uno de los cursos del programa. Además, hay que considerar subunidades instruccionales que serán los componentes modulares de cada curso.

Las metas del programa (? titulación) son las de proporcionar una preparación específica en Bioinformática a titulados superiores en Informática, Biología, Ciencias Biomédicas y Bioquímica, que permitan desarrollar proyectos científicos y técnicos en el ámbito de la disciplina, y como soporte de proyectos más amplios en el marco de la investigación genómica y proteómica.

Con respecto a los objetivos generales de cada módulo (? asignatura), se han establecido según tres dominios distintos: cognitivo, socio-afectivo y psicomotor. A continuación se describe cada uno de ellos.

Con respecto al dominio cognitivo, se ha establece una segmentación del contenido del módulo en cursos, y del contenido de los cursos en temas. La segmentación del módulo se basa en la oferta de cursos básicos y obligatorios, y de cursos opcionales y específicos, teniendo en cuenta las dos intensificaciones mencionadas anteriormente.

Para cada curso, se ha establece un núcleo de contenido que lo expone el profesor en forma de clase magistral, pero sirve de introducción y de enganche al resto de la asignatura. Además, se ha determina un espectro de temas fuera del núcleo destinados a ser desarrollados por los alumnos. En el aspecto práctico, el profesor proporciona las prácticas introductorias relacionadas con la parte que él mismo ha expuesto. Y finalmente, los alumnos deben abordar la realización de un proyecto de mayor envergadura, que aglutina los conocimientos teóricos y prácticos nucleares, pero que se basa en los temas periféricos. Cada proyecto debe plantearse teniendo en cuenta los proyectos del resto de cursos del módulo y la disponibilidad de los alumnos.

Con respecto al dominio socio-afectivo, se pretende facilitar que los estudiantes desarrollen su habilidad de ser responsables en su trabajo, para trabajar y tomar decisiones en equipo, que sean constructivos y buenos comunicadores, etc. Esto está casi garantizado dado el perfil de los alumnos (graduados en otras titulaciones) y su nivel socio-afectivo (personas mayores de 23 años en general). Por una parte se ha dispuesto que los alumnos establezcan un “contrato” con el profesor en el que se comprometan a desarrollar un tema elegido del conjunto de temas periféricos. Algunas condiciones adicionales sobre el contrato básico contemplan la exposición del tema al resto de compañeros, sea en forma de seminario, sea en forma de grupos de discusión, la especificación del tema a desarrollar, los objetivos mínimos y los plazos estimados en que se podrá entregar.

Con respecto al dominio psicomotor, se pretende que los alumnos desarrollen sus habilidades en el desarrollo de las prácticas, trabajando con las herramientas bioinformáticas disponibles, y adquiriendo experiencia en su aplicación a casos concretos.

Está claro que el MISE se puede aplicar directamente a las titulaciones de Primer y Segundo ciclos con muchas menos adaptaciones que para el caso anterior.

### **3.7. Recursos necesarios**

En esta subsección se intenta responder a las preguntas ¿quién? ¿cómo? ¿dónde? El Modelo descrito necesita de un periodo de implantación bastante largo ya que debe seguir el proceso reglamentario en el mundo universitario para crear nuevas titulaciones y programas de doctorado. Sin embargo, existen actualmente alternativas reales que facilitan caminos distintos para poner en marcha prototipos del modelo, al menos, en cuanto al programa de doctorado.

En la Orden SCO/709/2002 de 22 de Marzo, el Ministerio de Sanidad y Consumo convocó la concesión de ayudas para el desarrollo de Redes Temáticas de Investigación Cooperativa, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) para el periodo 2003-2006, en el área de Biomedicina. Esta concesión se atenía a las directrices del VI Programa Marco de la Unión Europea. Una de las condiciones de la convocatoria es que se incluyera un plan de formación a cargo de los componentes de la red. Por lo tanto, una opción inmediata de poner en marcha un prototipo de programa de doctorado global en Bioinformática es a través de este tipo de redes. Concretamente, una de ellas puede ser la denominada "INBIOMED. Plataforma de almacenamiento, integración y análisis de datos clínicos, genéticos, epidemiológicos e imágenes orientada a la investigación sobre patologías", a la que los autores están adscritos a través de sus respectivos grupos de investigación, y donde la formación propuesta es precisamente en Bioinformática.

La implantación plena de los tres ciclos requiere del concurso y concierto de distintos actores sociales e institucionales, como los ministerios de Educación, de Ciencia y Tecnología y de Sanidad, las universidades públicas y privadas, los institutos de investigación, y las empresas cuyas actividades sean afines a la Bioinformática y a la Biomedicina en general.

#### 4. Conclusiones

La Bioinformática es una disciplina científico-tecnológica multidisciplinar donde concurren principalmente la Biología Molecular y Genética y la Ciencia de la Computación y la Ingeniería Informática. Actualmente, la formación en Bioinformática en España no cubre las necesidades crecientes en investigación. Además, las universidades españolas no han dado todavía una respuesta estratégica e institucional en forma de oferta global de formación científica y técnica en Bioinformática.

En este trabajo se propone un *plan director para la formación en Bioinformática* que comprenda todos los ciclos académicos universitarios con el objetivo fundamental de conseguir personal bioinformático formado adecuadamente a distintos niveles para distintos perfiles profesionales. Dicho plan está compuesto por sendos modelos formativos para la capacitación científico-técnica en Bioinformática correspondientes a los ciclos curriculares universitarios. Se propone además una secuencia de implantación inversa en función de los recursos disponibles en la actualidad y los que se puedan ir añadiendo en el futuro. Así, se empezaría a implantar el programa de doctorado, después el master y finalmente la ingeniería.

Independientemente del proceso oficial para la implantación del plan director, se podría poner en marcha un prototipo de programa de doctorado aprovechando el soporte humano, material y financiero de las Redes Temáticas de Investigación Cooperativa, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) para el periodo 2003-2006. En concreto, se describe brevemente el apoyo que proporciona una de las redes, denominada INBIOMED.

Si bien hasta la fecha el diseño detallado y la gestión de la formación en determinadas disciplinas ha sido potestad o feudo de cada universidad (en base al principio de autonomía universitaria), los autores creen que no hay más remedio que llegar a un consenso y trabajar juntos para sacar adelante la formación en Bioinformática, dados los enormes recursos que demanda. Además, el trabajo debe plantearse desde enfoques multidisciplinarios y muy flexibles y abiertos. En este sentido, la Bioinformática está sujeta al "amor" a la docencia y a la investigación del PDI de las universidades, pero también al "odio" que tienen las universidades y sus departamentos a compartir recursos y conocimientos, y al "odio" de los grupos de poder a ceder información y prebendas en aras de una formación distribuida.

## **Agradecimientos**

El modelo docente propuesto recoge las ideas contenidas en el diseño del plan de formación correspondiente a una de las redes de investigación que han sido aceptadas para su financiamiento dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) para el periodo 2003-2006, en el área de Biomedicina, denominada G03/160 “INBIOMED. Plataforma de almacenamiento, integración y análisis de datos clínicos, genéticos, epidemiológicos e imágenes orientada a la investigación sobre patologías”. Su coordinador es el Dr. Fernando Martín, del Instituto de Salud Carlos III. La red INBIOMED ha financiado este trabajo.

## Bibliografía

- ADEIT, 2003. Curso: Diploma de Postgrado en Bioinformática [http://www.emagister.com/bcurso69534070021455707048554970674550\\_85620070021452566866576650554568.htm](http://www.emagister.com/bcurso69534070021455707048554970674550_85620070021452566866576650554568.htm)
- Alma Bioinformática <http://www.almabioinfo.com/training/inscripcion.html>
- Alma, 2003. [http://www.almabioinfo.com/services\\_training](http://www.almabioinfo.com/services_training)
- Backofen R., Gilbert D. "Bioinformatics and Constraints". *Constraints*, 6; 2001: 141-156.
- CDB-UAM, 2002. Doctorado de Bioinformática <http://www.pdg.cnb.uam.es/cursos/BioInfo2002/>
- Centro Virtual de Bioinformática, Cuba. <http://www.uh.cu/bioinf/cursos.htm>
- Doménech, F.; "Proceso de enseñanza/aprendizaje universitario. Aspectos teóricos y prácticos". Castellón: Publicacions de la Universitat Jaume I, 1999.
- e-BioIntel. <http://www.ebiointel.com/curso/presentacion.asp>
- emagister, 2003. II Curso Teórico/práctico de Bioinformática. [http://www.emagister.com/bcurso37970020022056686566576749484549\\_38998020022056686566576750544549.htm](http://www.emagister.com/bcurso37970020022056686566576749484549_38998020022056686566576750544549.htm)
- EMBnet, 1999. <http://www.es.embnet.org/Services/training/courses.es.html#intl>
- ISCI, 2001. Unidad de Bioinformática - Educación - Otros cursos <http://biotic.iscii.es/actividad/educacion/educ-otros.html>
- MCEyD. "La integración del sistema universitario español en el espacio europeo de enseñanza superior". Documento-marco del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Febrero de 2003.
- Real Decreto 778/1998, de 30 de abril, por el que se regula el tercer ciclo de estudios universitarios, la obtención y expedición del título de doctor y otros estudios de postgrado. <http://www.univ.mecd.es/sgrju/disposiciones/realdecreto/rd7/rd778-98.html>, acceso 31-01-2003.
- Rivas, F. (1997). *El proceso de Enseñanza/Aprendizaje en la Situación Educativa*. Barcelona: Ariel.
- Rockefeller-U, 2003. <http://linkage.rockefeller.edu/wli/bioinfocourse/>
- Sackman H. *Biomedical Information Technology. Global Social Responsibilities for the Democratic Age*. Academic Press, San Diego, CA (USA), 1997.
- SB-UV, 1996. <http://scsie.uv.es/scsie-docs/0109/bioinformatica/actividades.html>
- Stanford-U, 2003. <http://motif.stanford.edu/courses.html>
- Stephanopoulos G. "Bioinformatics and Metabolic Engineering" (Foreword). *Metabolic Engineering* 2; 2000: 157-158.
- Valcárcel M. Estudio sobre el doctorado en la universidades españolas: situación actual y propuestas de mejora. Universidad de Córdoba, Córdoba, de 20 de abril de 2002. Programa de Estudios y Análisis para la Mejora de la Calidad de la Enseñanza Superior y Profesorado Universitario (Resolución de 3 de septiembre de 2001, BOE de 20 de septiembre de 2001).
- Web-1, 2003. <http://www.hgmp.mrc.ac.uk/GenomeWeb/documentation.html>
- Web-2, 2003. [http://bip.weizmann.ac.il/mb/tut/bioinfo\\_courses.html](http://bip.weizmann.ac.il/mb/tut/bioinfo_courses.html)
- Web-3, 2003. [http://biotech.icmb.utexas.edu/pages/bioinform/biprograms\\_us.html](http://biotech.icmb.utexas.edu/pages/bioinform/biprograms_us.html)
- Weizmann, 2003. <http://bioinformatics.weizmann.ac.il/courses/>