



Las nuevas titulaciones de grado de bioquímica y biotecnología

José G. Castaño

En los artículos precedentes se ha analizado la situación actual de la enseñanza de la bioquímica y de la biotecnología a todos los niveles, desde las actuales licenciaturas hasta los contenidos que de estas disciplinas se imparten en la enseñanza secundaria, y las perspectivas profesionales de los nuevos graduados.

En este artículo se resume la propuesta que para los nuevos estudios de grado (y de posgrado) de bioquímica y biotecnología se presenta en el Libro Blanco de ambas titulaciones.

Las titulaciones de grado de bioquímica y biotecnología están implantadas en todos los países de la Unión Europea, y sería incomprensible que no se implantaran en España. Ambas son titulaciones indispensables dadas las bases de la reforma:

- a) La bioquímica y la biotecnología son dos pilares para la generación de valor añadido a productos y servicios. Junto con las tecnologías de la información constituyen la siguiente gran ola de expansión de la economía basada en el conocimiento, como reconoce la Unión Europea, y hace muchos años que se practica en Estados Unidos.
- b) La bioquímica y la biotecnología son ciencias facilitadoras y potenciadoras, de nuevo como las ciencias de la información, que pueden ser aplicadas a un gran rango de objetivos, tanto públicos como privados, desde el medio ambiente, pasando por la alimentación y la mejora de la salud y la atención sanitaria.
- c) La bioquímica y la biotecnología son esenciales para los objetivos de la Unión Europea de fortalecer una educación más amplia y profunda de la sociedad en las ciencias de la vida, que permita a la sociedad entender y compartir los avances tecnológicos que se producen cada vez con mayor rapidez.

La propuesta recogida en el *Libro Blanco* es de dos grados (*grado de bioquímica* y *grado de biotecnología*), de 3 años con materias comunes y específicas y un proyecto de grado o fin de carrera con un mínimo de 15 ECTS, en total 180 ECTS. Para el posgrado, la propuesta recomienda 2 años (120 ECTS) con un proyecto de máster como mínimo de 30 ECTS. La justificación es obvia: es la propuesta que mejor se armoniza con lo predominante en el resto de Estados miembros de la Unión Europea. Si, como parece, la propuesta en discusión de 3+1 años para el grado —último año dedicado al proyecto de grado o de fin de carrera: está bien que se universalice la necesidad de un proyecto, algo que en la titulación de bioquímica se venía haciendo en muchas universidades con diferentes denominaciones— se impone para todas las titulaciones de ciencias experimentales, habrá que adaptar la propuesta del *Libro Blanco* para bioquímica y biotecnología a un grado único de 3+1 años. Esta normalización tiene efectos positivos, pero al menos dos efectos negativos a paliar:

- Uno de carácter universal para las ciencias experimentales. Los másters casi necesariamente pasan a ser de 1 año (60 ECTS) con disminuida posibilidad de formación especializada y en clara contradicción con muchos másters europeos de calidad, donde universidades, cen-

tros de investigación y empresas colaboran en impartir másters especializados y profesionalizantes y que, evidentemente, incluyen la realización de un proyecto de máster de 30 ECTS.

- Otro específico para bioquímica y biotecnología. La calidad para un grado conjunto de bioquímica y biotecnología debería suponer la realización de dos proyectos de grado (o fin de carrera) en el grado conjunto, uno de bioquímica y biología molecular y otro de biotecnología; tienen mucho en común, pero son claramente distintas.

¿Están preparadas todas nuestras universidades que imparten (o impartirán) bioquímica y/o biotecnología en garantizar a los estudiantes de esa única titulación los medios materiales y personales necesarios, y la posibilidad de realizar dos proyectos de grado (o fin de carrera) con calidad suficiente? Los medios disponibles no parecen que vayan a mejorar notablemente y, por ello, cada universidad tendrá que arreglarse como pueda. Respecto a la ejecución de los proyectos, la encuesta presentada en el *Libro Blanco* indica que el 35 % del profesorado que ha contestado la encuesta no participa en grupo de investigación alguno, lo cual hace difícil la implantación de un proyecto de fin de carrera experimental en todas las universidades para los grados de bioquímica y biotecnología. Por otro

lado, no hay ninguna subvención específica para la realización de esos proyectos de fin de carrera; en la actualidad, se utilizan los fondos que los grupos de investigación obtienen para la realización de sus proyectos de investigación. La única solución viable es la implantación de diferentes tipos de proyectos, como se describe a continuación (y con mayor detalle en el *Libro Blanco*, disponible en www.sebbm.com/documentos.htm):

- a) **Proyecto de investigación o desarrollo experimental.** El estudiante realiza un proyecto de investigación experimental, o de desarrollo aplicado, en un laboratorio de la universidad, centros de investigación, hospitales, empresas, etc.
- b) **Proyecto de investigación o desarrollo bioinformático.** Consistente en el diseño y/o uso de las herramientas informáticas para el estudio de un problema científico básico o aplicado en biociencias moleculares y biotecnología.
- c) **Proyecto de data mining y bibliográfico.** En los proyectos de *data mining*, el estudiante explorará la conectividad de productos génicos, o de vías, mediante el estudio con software adecuado de la literatura publicada, lo que ha permitido, y permite, descifrar mecanismos, interacciones o vías nuevas. El proyecto bibliográfico se dirige a la evaluación crítica de una serie de trabajos científicos publicados recientes sobre un tema específico de actualidad, o sobre el progreso histórico hasta la actualidad de conceptos básicos y su desarrollo y aplicación en biociencias moleculares y en biotecnología.
- d) **Proyectos de gestión.** En este tipo de proyectos el estudiante puede llevar a cabo el análisis o elaboración de proyectos de investigación y desarrollo, la puesta en marcha de patentes, realizar estudios de viabilidad y mercadotecnia, etc., siempre partiendo de un conocimiento de la realidad científica que subyace a todo proceso de gestión de ciencia y tecnología.
- e) **Proyectos docentes.** El estudiante lleva a cabo el desarrollo de metodología docente adecuada para la posible nueva implantación de aspectos novedosos o de frontera en el avance de las biociencias moleculares y de la biotecnología a los *curricula* de los futuros graduados o de la enseñanza secundaria.

Las razones de los diferentes tipos de proyectos son en primer lugar económicas, como ya se ha mencionado, pero no es despreciable tampoco el hecho de que mu-

chos estudiantes no se sienten especialmente inclinados a la investigación y desarrollo experimental, y por tanto pueden alcanzar niveles idénticos de formación que compañeros que realicen proyectos experimentales (o incluso con mayores competencias transferibles) realizando proyectos *dry-lab*, bibliográficos, de gestión o docentes. El grado único debería incluir dos de estos tipos de proyectos (uno de bioquímica y biología molecular, y otro de biotecnología), de acuerdo con las posibilidades de cada universidad, aunque lo más probable es que se opte por un proyecto único de grado, con el obvio descenso de la calidad de la formación que alcanzarán los estudiantes de la doble titulación.

► Bloques temáticos y líneas maestras de las nuevas titulaciones de bioquímica y biotecnología

La propuesta de los bloques temáticos para los dos grados y un breve resumen de la propuesta de contenidos que se presenta en el *Libro Blanco* se resumen en la tabla 1 con el mínimo recomendado de ECTS por bloque temático.

Si definitivamente se establece un solo grado de bioquímica y biotecnología en 4 años por el Ministerio de Educación y Ciencia, la propuesta de los dos grados se podría adaptar, como se resume en la última columna de la tabla I, a un grado único de 4 años.

La propuesta de contenidos y competencias (*saber y saber hacer*) para cada uno de los bloques es imposible resumirlas en el espacio de este artículo y se remite al lector al *Libro Blanco* donde los profesores pueden encontrar una guía para su implementación y mejora. A continuación resumiré en mi opinión las líneas maestras que definen los contenidos y competencias de los grados de bioquímica y biotecnología.

1. La adquisición de las competencias específicas en estas dos disciplinas debe conseguir que el graduado pueda evaluar

y discernir los diferentes mecanismos moleculares y las transformaciones químicas responsables de un proceso biológico y sus aplicaciones, así como desarrollar una clara percepción de situaciones que, siendo diferentes, muestran analogías, lo que le permitirá el diseño de soluciones adecuadas a nuevos problemas.

2. La formación práctica del graduado en bioquímica y biotecnología es básica para conseguir que el graduado se familiarice con el trabajo en el laboratorio, la instrumentación y los métodos experimentales más utilizados. Además, el graduado debe de ser capaz de realizar experimentos y/o diseñar aplicaciones de forma independiente y describir, cuantificar, analizar y evaluar críticamente los resultados obtenidos.
3. Los contenidos y competencias van dirigidos a que el estudiante adquiera una formación centrada en la necesidad final de la comprensión del fenotipo funcional de los organismos. Ese proceso integrativo para explicar la complejidad resultante de la interacción de sistemas moleculares y celulares determina que no sólo se incluyan contenidos y competencias propias de los procesos químicos y físicos

«La visión de que sólo unos pocos merecen seguir investigando y los demás se dediquen a una enseñanza cada vez más degradada es un error mayúsculo.»

de los seres vivos, sino que su perspectiva fenotípica se alcance en los niveles de integración fisiológica y en las aplicaciones biotecnológicas y biomédicas. Este proceso de «globalización» requiere de herramientas matemáticas, informáticas y de ingeniería para su modelización, manejo, predicción y manipulación y por ello el carácter esencial de introducir al estudiante en una rama joven, la biología molecular de sistemas.

4. Una parte importante del aprendizaje en cada bloque, por lo anteriormente expuesto, debe centrarse en la utilización de herramientas informáticas que incluyan la búsqueda de información en bases de datos, la utilización e interpretación de los resultados obtenidos de esas interpe-laciones, y el análisis e interpretación de resultados experimentales o de producción biotecnológica por la utilización de programas informáticos adecuados.

Tabla 1. Bloques temáticos y ECTS mínimos para los dos grados de bioquímica y biotecnología, según la propuesta recogida en el Libro Blanco de ambas titulaciones (3 años) y la posible unión de ambos en un título de grado único de 4 años

Bloques temáticos	ECTS Bioquímica (3 años)	ECTS Biotecnología (3 años)	ECTS Bioquímica y biotecnología (4 años)
1. <i>Química para las biociencias moleculares</i> . Fundamentos de química (general, química-física, orgánica e inorgánica) necesarios para estudiar y comprender los procesos biológicos y adiestrarle en las operaciones experimentales básicas en química, trabajando de forma segura y eficaz.	12,00	12,00	12,00
2. <i>Fundamentos de biología, microbiología y genética</i> . Introducción a la complejidad de diseño estructural y funcional de los organismos vivos (desde microorganismos a organismos superiores: animales y plantas) y a las propiedades básicas de estos organismos en cuanto a su mantenimiento energético y reproducción. Este bloque tiene una introducción específica de microbiología por la relevancia de los microorganismos en el desarrollo metodológico y de aplicaciones tanto en bioquímica como en biotecnología.	12,00	12,00	12,00
3. <i>Física, matemática e informática para las biociencias moleculares</i> . En este bloque se incluye la física (mecánica, fluidos, electromagnetismo, reacciones nucleares, técnicas de imagen no invasiva) con orientación biológica y basada en el cálculo cuando sea necesario. En el epígrafe de matemáticas se incluyen tanto contenidos propios de la matemática (álgebra, cálculo numérico, series, diferenciación, integración, análisis de datos, representaciones gráficas, etc.), como los contenidos de otras dos ciencias frontera: bioestadística e informática, haciendo hincapié en el uso de paquetes informáticos para su estudio.	12,00	12,00	12,00
4. <i>Métodos instrumentales cuantitativos y biología molecular de sistemas</i> . Este bloque comprende las diferentes metodologías instrumentales cuantitativas utilizadas en bioquímica y biología molecular para la purificación, caracterización y cuantificación de biomoléculas (metabolitos intermediarios, glúcidos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) y una introducción a la biología molecular de sistemas en sus diferentes análisis que han cambiado el paradigma de la investigación biológica a nivel molecular (genómica, transcriptómica, proteómica, metabolómica, etc.) con un componente informático imprescindible.	10,00	10,00	10,00
5. <i>Bioquímica y biología molecular</i> . Las materias incluidas en este bloque son macromoléculas: estructura, función e interacción (incluyendo métodos físicos de la determinación de estructura y modelización molecular); enzimología; estructura y función de biomembranas: transporte y bioenergética; vías metabólicas: regulación y control; biosíntesis de macromoléculas: regulación y control; señalización celular y control del funcionamiento y destino celular; genética molecular y tecnología del DNA recombinante.	26,00	26,00	26,00
6. <i>Integración fisiológica y aplicaciones de la bioquímica y biología molecular</i> . Es el bloque de integración funcional del currículo y se incluyen los contenidos y competencias de fisiología molecular de animales y plantas. Dentro de las aplicaciones se incluyen los contenidos y competencias para: inmunología, microbiología, virología y parasitología, bioquímica clínica y patología molecular. Este bloque está muy orientado a proporcionar al estudiante formación esencial para las salidas profesionales biomédicas reconocidas en la actualidad para bioquímicos. Otros contenidos que podrían incluirse y podrían ser optativos u obligatorios de universidad serían: bioquímica industrial, tecnología enzimática, biología del desarrollo, neurobiología molecular, farmacología molecular, glicobiología, etc.	30,00		30,00
7. <i>Bioingeniería y procesos biotecnológicos</i> . En este bloque se incluyen las áreas de ingeniería bioquímica, ingeniería de biorreactores, procesos, productos y proyectos biotecnológicos. También están incluidas algunas aplicaciones de la biotecnología molecular, aunque de forma exhaustiva. La formación en ingeniería bioquímica ha de permitir al estudiante la adquisición de las capacidades para aplicar sus conocimientos teóricos a escala de producción industrial, donde se echan en falta profesionales capaces de dominar los aspectos moleculares y celulares siendo a la vez capaces de diseñar procesos para el uso y la explotación de organismos, células o biomoléculas en la obtención de bienes y servicios.		26,00	26,00
8. <i>Aspectos sociales y económicos de la bioquímica y la biotecnología</i> . En este bloque se incluyen materias como: bioética, bioseguridad, control de calidad y evaluación (tanto desde el punto de vista analítico como de producción) y la comunicación social de las biociencias moleculares y de la biotecnología, aspecto este último que es considerado prioritario en la Unión Europea. También se recogen los contenidos específicos de biotecnología sobre economía y gestión de empresas, incluyendo aspectos de propiedad intelectual y patentes, que son de gran relevancia en el sector biotecnológico industrial.	4,00	10,00	10,00
9. <i>Proyecto fin de carrera</i>	15,00	15,00	30,00
Total ECTS:	121,00	123,00	168,00
Porcentaje a 180 ECTS (3 años):	67,22	68,33	
Porcentaje a 240 ECTS (4 años)			70

La alianza por la educación de calidad y la investigación

Como mencioné en el artículo introductorio nos estamos jugando mucho y eso lo saben en la Unión Europea y en Estados Unidos (y en la Unión Europea aún más, si queremos seguir disfrutando del estado del bienestar que tanto ha costado establecer y cuesta mantener, nos lo dicen los eones economicistas). Se necesita que España, y la Unión Europea, haga una apuesta máxima por la investigación básica a largo plazo; desarrolle, reclute y retenga a los estudiantes, científicos e ingenieros ofreciéndoles una carrera profesional estimulante y con medios personales y de infraestructura suficientes; mejore dramáticamente el nivel educacional en matemáticas y ciencias experimentales de todos los estudiantes de secundaria y bachillerato; consiga con ello atraer estudiantes de fuera de nuestras fronteras por algo más que el sol y las playas; e intente, o al menos comparta el liderazgo en innovación y tecnología. La visión de que sólo unos pocos merecen seguir investigando y los demás se dediquen a una enseñanza cada vez más degradada es un error

mayúsculo. La universidad no puede, ni debe, perder el liderazgo en investigación aunque sus trabajos no se publiquen en *Nature*, porque eso supondría la pérdida del tejido sobre el que se fundamenta la evolución de creadores e innovadores, que no salen espontáneamente, y en nuestro medio son más bien escasos. Algunas universidades europeas ya se están constituyendo en una alianza por la excelencia de la investigación en la universidad. La visión de que la enseñanza superior y la investigación no tienen nada que ver, y están por encima de la enseñanza secundaria y el bachillerato, es otro error [recomiendo la lectura de un artículo de Bruce Alberts, publicado en la revista *Cell* a finales de 2005: *Cell* 2005; 123: 739]. Todos, los profesores de universidad y los de instituto, enseñanza secundaria y primaria, estamos en el mismo barco, si no se interactúa para mejorar a todos los niveles siempre estaremos achacando a otros las deficiencias encontradas en los estudiantes, es un ciclo fútil que hace perder ATP (humano) y euros en cantidades desproporcionadas. Pero la fuerza del Estado no es suficiente, no tiene suficientes productores de ATP

(recursos humanos) y de euros (recursos económicos); en esta tarea se tienen que implicar también el sector industrial productivo y de servicios que son los que más interés siempre dicen tener en que se mejore la enseñanza y el aprendizaje. Si la sociedad y el Estado quieren tener más recursos en educación y en investigación escuchemos los métodos de los eones economicistas; es muy fácil... basta con poner a los empleadores un Impuesto Específico Educativo Europeo (IEEE) de cuantía progresiva dependiendo del nivel de preparación alcanzado por la persona que es contratada y durante un período en años idéntico al empleado en la formación del contratado, además de que puedan contribuir con donaciones y proyectos conjuntos de investigación, formación y capacitación. Estoy convencido que todo el país, si fuera consultado en referéndum, estaría de acuerdo en ese impuesto, menos quizá los empleadores. El país que invierte en educación y en investigación invierte en futuro, para entre otras cosas crear y mantener un mejor y mayor nivel de empleo para sus ciudadanos. #

5. Un objetivo básico de la formación debe ser también el desarrollo en los estudiantes de la capacidad de *realizar presentaciones orales y escritas tanto a un auditorio especializado como no especializado, y tanto en su lengua materna como en inglés (el idioma actual de la bioquímica y de la biotecnología)*.
6. Es fundamental que los estudiantes sean capaces de *trabajar de forma adecuada en un laboratorio químico-bioquímico y con material biológico (bacterias, virus, células animales y vegetales, plantas, animales) incluyendo seguridad, manipulación y eliminación de residuos químicos y biológicos y registro anotado de actividades*.
7. La formación recibida debe *familiarizar al estudiante con la literatura cien-*

tífica y técnica de la bioquímica y la biotecnología, percibir claramente los avances actuales y los posibles desarrollos futuros.

8. El nuevo graduado debe *saber apreciar claramente las implicaciones éticas, sociales, económicas y ambientales de la actividad profesional en el área de la bioquímica y la biotecnología.*

► Contenidos y competencias

El proceso de adaptación no sólo requiere definir contenidos y competencias, sino también el nivel de los contenidos y competencias que es lo que define el carácter generalista de la formación. Las fichas hechas públicas de las titulaciones que han entrado en la primera ronda de adaptación

al EEES no muestran cualificación alguna respecto al nivel de las competencias, el legislador declina esa función, pues sería muy complicado y difícil de consensuar. En algún caso parece que la premura ha llevado al comité de expertos que ha elaborado las fichas a, por defecto, incluir todo lo posible para que su titulación sea omnimoda, confundiendo formación generalista (realista) con impresionista. La tarea de evaluar los niveles competenciales parece dejarse a las agencias de evaluación y acreditación, una propuesta de evaluación mediante una ficha para cada asignatura de las nuevas titulaciones se incluye en el *Libro Blanco*.

En el *Libro Blanco* se han matizado *contenidos y competencias* en dos niveles.

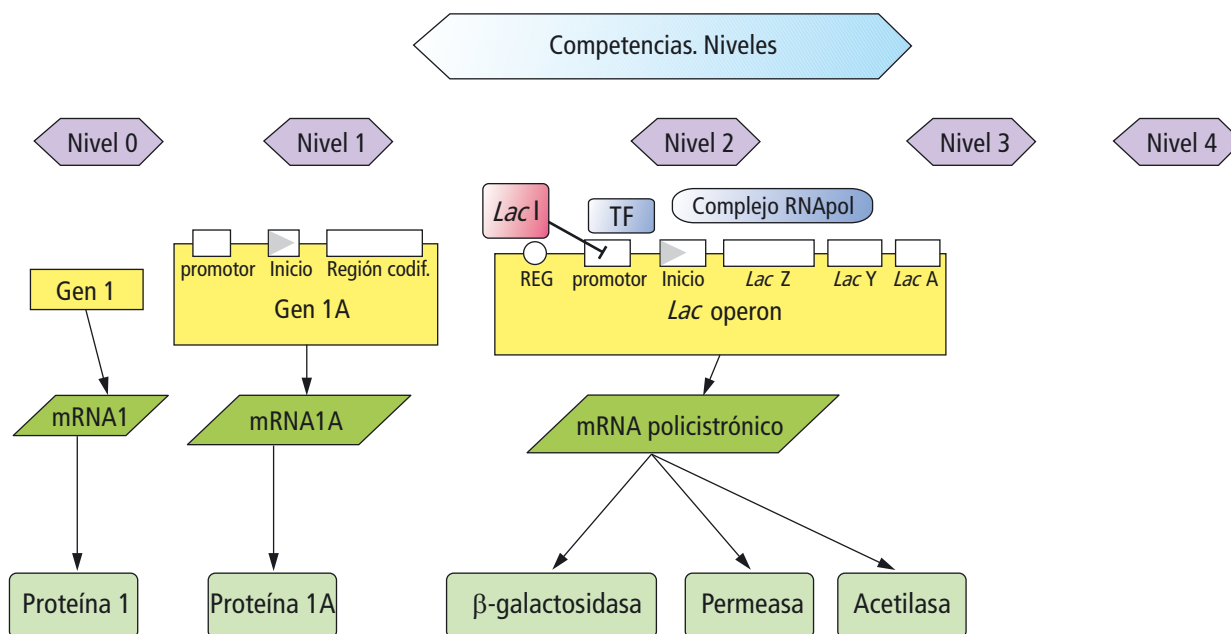


Figura 1 Ejemplificación de los niveles competenciales en un modelo sencillo de expresión génica

Los dos niveles para los *contenidos* son:

- **Introdutorio.** Conocimiento de los principios o aplicaciones fundamentales a nivel de introducción
- **Generalista.** Conocimientos cuyo aprendizaje se considera esencial para la temática particular por constituir objetivos generalistas de la formación profesionalizante.

Los dos niveles para las *competencias* son:

- **Umbral o basal.** Saber los principios o aplicaciones fundamentales de un tema o proceso.
- **Bueno.** Dominar no solamente los principios o aplicaciones fundamentales, sino además su aplicación concreta y detallada en diferentes entornos temáticos donde se apliquen los principios o aplicaciones generales. Veámoslo con un ejemplo; en la figura 1 se muestran tres ejemplos de niveles competenciales respecto a la expresión génica utilizando CellDesigner 3.0 (un programa de uso libre para la estandarización de la representación de vías y procesos a nivel molecular en lenguaje SBML).

El nivel 0 indicado en la figura 1 es el dogma central de la biología molecular, algo que todos los estudiantes que entran en la universidad deberían saber, aunque la exégesis de este dogma requiere un conocimiento bastante profundo. El nivel 1 incluye ya un conocimiento mayor, porque establece la articulación del proceso de transcripción a nivel génico. El nivel 2 es un ejemplo sencillo y muy simplificado en procariontes del control de la expresión génica del operón *lac*. Habría muchos más niveles o más completos en su descripción, hasta llegar al de un especialista en operón *lac*. El nivel de conocimiento exigible a un graduado en bioquímica y biotecnología en este tema es como mínimo el nivel 2 (introdutorio). Desde el punto de vista competencial, y por la importancia que en muchos aspectos tiene el modelo de regulación del operón *lac*, el nivel 3 es el que podríamos considerar generalista (propio de la profesión de bioquímico y/o biotecnólogo). En este caso particular, el graduado debe saber no sólo los principios generales (nivel competencial basal), sino de forma concreta (nivel competencial bueno) el modelo del operón *lac*. Este nivel exigible es porque, entre otras cosas, es esencial para entender cómo se utilizan los mó-

dulos de este operón en los vectores de expresión de proteínas en bacterias para el objetivo de producción controlada de proteínas.

¿El proceso de definir competencias y niveles es un proceso difícil? Ni mucho menos, es simplemente pensar en lo que se pretende alcanzar en la formación de un estudiante, en vez de seguir simplemente la intuición, o lo que dicen los libros de texto. Eso sí, requiere tiempo para pensar y coordinar las enseñanzas de diferentes profesores en diferentes asignaturas y, muy importante, evitar las repeticiones de las que está plagado nuestro sistema educativo desde secundaria hasta en la universidad. #

.....
José G. Castaño

DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA
E INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
BIOMÉDICAS ALBERTO SOLS,
FACULTAD DE MEDICINA DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID