

# MATEMÁTICAS, ECTS Y BIOLOGÍA FORMACIÓN O INFORMACIÓN

**M<sup>a</sup> Teresa González Manteiga**

Departamento Matemática Aplicada (Biomatemática)

Facultad de CC. Biológicas, UCM  
mtgmant@bio.ucm.es

**Resumen.** *La construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, y la implantación del Sistema Europeo de Transferencia de Créditos, ECTS, traen consigo reformas de planes de estudio, métodos de enseñanza y evaluación de los niveles de calidad.*

*¿Cómo encarar los nuevos retos desde el punto de vista de las Matemáticas en una Facultad de CC. Biológicas? La inclusión de las Matemáticas en los Planes de Estudio se fundamenta en su importancia en la formación intelectual del alumno. En los últimos años ha aumentado el porcentaje de estudiantes que no la aprueban en primera convocatoria. ¿Cómo aprovechar el cambio impuesto para resolver este problema?*

*Las nuevas tecnologías ayudan para apoyar a los alumnos que acceden sin los conocimientos mínimos necesarios para poder afrontar con éxito los estudios universitarios. La ayuda del profesor de matemáticas, actuando como animador, guía, orientador... es imprescindible en el proceso educativo. El profesor debe dirigir el aprendizaje construyendo el edificio del saber partiendo de lo más sencillo y básico hacia lo más complejo y específico, rellenando lagunas y conduciendo hacia las aplicaciones matemáticas en la Biología.*

*Aprender es un acto individual y voluntario, el profesor puede y debe ayudar al alumno, pero no puede aprender por él.*

**Palabras clave:** Matemática Aplicada, Biomatemática, Créditos ECTS, Nuevas tecnologías, Proceso de aprendizaje matemático.

## 1. Introducción

La construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, con el objetivo de alcanzar un sistema de títulos universitarios compatibles en toda la Unión Europea, trae consigo en todas las universidades, y en concreto en las facultades de Biología, reformas en el plan de estudios con titulaciones en dos

ciclos: *grado* y *postgrado*, cambios en los métodos de enseñanza -enseñanza basada en el aprendizaje del alumno y centrada en él-, la implantación del Sistema Europeo de Transferencia de Créditos, ECTS, que favorecerán la movilidad de estudiantes y profesores, y la evaluación de los niveles de calidad.

La labor del profesor es enseñar de la mejor manera posible y esto no es una novedad, sí puede serlo la utilización de las nuevas tecnologías, que avanzan cada vez más rápido, para guiar al alumno en su aprendizaje y vigilar más de cerca la actividad de cada alumno y su evolución.

Aprovechando los cambios que nos vienen impuestos, se puede intentar paliar a la vez algunas de las deficiencias detectadas en los últimos cursos en nuestra materia. Entre ellas cabe destacar:

- Descenso considerable del nivel de conocimientos matemáticos con que acceden los alumnos a los estudios universitarios, siendo apreciable el número de los que ni siquiera se han matriculado en matemáticas en el último curso de bachillerato.
- Abandono de la asignatura por un porcentaje alto de alumnos ante la primera dificultad con lo que se crea un abismo que se ven incapaces de superar.
- Los alumnos muestran desinterés por subsanar su falta de base.
- Aumento del porcentaje de alumnos no presentados o que suspenden matemáticas en la primera convocatoria.
- Gran heterogeneidad en el nivel de preparación previa, en las aptitudes e inquietudes intelectuales, en la capacidad de atención y de abstracción.
- Se observa falta de agilidad de los alumnos en el razonamiento.
- Deficiencias en la expresión oral y escrita.
- Hoy en día el alumno que no sabe trata de quedarse en el anonimato y si pregunta algo lo hace a sus compañeros antes que al profesor con lo que se alarga el tiempo para ponerse al día y, al no poder seguir las clases, abandona la asignatura. Otros acuden a academias buscando recetas para aprobar las matemáticas sin esforzarse en comprender lo que hacen ni preguntarse el porqué, desperdiciando el valor formativo del trabajo matemático.
- Falta de aprovechamiento de las tutorías que se les ofrecen y cuando acuden ya no tienen tiempo de asimilar los conocimientos.
- Mala programación del estudio personal...

## **2. Necesidad de las matemáticas en el curriculum para la obtención del futuro Título de Grado en Biología**

Las matemáticas son el modo de percepción de la ciencia, constituyen un puente que enlaza los estudios humanísticos y los científicos. Representan un segundo lenguaje del pensamiento humano que sirve como medio de comunicación universal de ideas, como la música o cualquier otra manifestación artística. Pero además representan el lenguaje universal de la ciencia y de la técnica, favorecen el desarrollo de la mente y permiten

comprender el mundo en el que vivimos. Como decía Galileo: *La Naturaleza está escrita en lenguaje matemático.*

Las matemáticas tienen un papel central en el desarrollo intelectual y son indispensables para una formación científica. Según Gauss *son el principal recurso para desarrollar la mente humana.* Favorecen la implantación del hábito de trabajo continuo, pues no se pueden estudiar haciendo sólo un gran esfuerzo a última hora, exigen un estudio reposado y constante. Ayudan a crear también el hábito del esfuerzo hasta conseguir resolver un problema propuesto, a no abandonar ante la primera dificultad, y esto proporciona una habilidad fundamental para el trabajo científico que exige, como figura en el lema del escudo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: *Observación y Cálculo.*

La ciencia se caracteriza por la búsqueda de la verdad, pero la verdad no es una estación de llegada, es la manifestación de la realidad y como decía el Académico Alcántara de la Llave, *nada simboliza e interpreta mejor la verdad que las matemáticas.* En su discurso de ingreso en la RACEFyN titulado “Reflexiones sobre la Enseñanza de las Matemáticas” afirmaba que las matemáticas ayudan a los jóvenes a conseguir *un criterio recto, un espíritu lógico de síntesis y de análisis, un amor grande, en fin, a lo cierto.*

Entre los beneficios que aporta el estudio de las matemáticas se pueden mencionar, entre otros, que facilitan el hábito de estudio, ayudan a no aceptar generalizaciones sin contrastar, ni admitir sin prueba afirmaciones atrevidas ni falsas teorías, a distinguir una teoría de una conjetura, ... Desarrollan el razonamiento lógico y justifican la confianza en el valor de este razonamiento. El médico Hermann von Helmholtz que inventa el oftalmoscopio, en 1850, preparando una de sus clases de fisiología, explica: *...inmediatamente me puse a construir el instrumento utilizando lentes de gafas y láminas de vidrio de las empleadas como portamuestras en los trabajos con microscopio. Al principio era difícil de usar, y si no hubiese tenido la firme convicción teórica de que tenía que funcionar, no habría perseverado. Al cabo de una semana, sin embargo, tuve el gran placer de ser el primer hombre en contemplar claramente una retina humana en un ser vivo,... yo atribuyo mi éxito en gran medida al hecho de que, poseyendo algún entendimiento geométrico y equipado con un conocimiento de física, tuve la buena fortuna de ser lanzado a la medicina, en donde encontré en la fisiología un territorio virgen de gran fertilidad.*

Las matemáticas representan también un medio de acción, pues adoptan símbolos para el manejo de las ideas. Los modelos matemáticos permiten el estudio del comportamiento de los sistemas y su aplicación a distintos contextos. Igual que se dice de la música de Bach que es tan grande que enriquece a todo el que se acerca a ella, lo mismo podríamos decir de las matemáticas.

### 3. Dificultades que encuentran los alumnos de Biología en el estudio de las matemáticas:

- Necesitan conocimientos previos y, como se dijo anteriormente, es apreciable el número de los que ni siquiera se han matriculado en matemáticas en el último curso de bachillerato. Unos conceptos matemáticos se fundamentan sobre otros previos más sencillos. La construcción del edificio matemático es como la de cualquier edificio, se construye colocando unos ladrillos, o piezas, sobre otros, y poco a poco se va consiguiendo altura. Si faltan los cimientos o falta un piso, no se puede seguir, sería como querer construir castillos en el aire.
- Se observa en la actualidad la falta de espíritu de sacrificio en un alto porcentaje de alumnos que quieren todo pronto y sin esfuerzo.
- Es necesario también haber adquirido ciertas habilidades y para ello es imprescindible mucha práctica que exige tiempo y dedicación y son pocos los que tienen hábito de estudio.
- Una hora de clase requiere al menos dos horas de trabajo personal del alumno. Del mismo modo que no se aprende a nadar con la mera lectura de un tratado de natación, las matemáticas tampoco se aprenden sin la práctica.

### 4. Los contenidos matemáticos de los estudios de Grado en Biología

El proceso de Convergencia al Espacio Europeo de Educación Superior provocará unos cambios que nos vendrán impuestos y en los que no podremos intervenir, pero también otros en los que no sólo podemos sino que debemos opinar y participar. Entre éstos podríamos considerar:

¿Qué matemáticas se deben enseñar en los estudios de Grado en Biología? Hoy es imposible abarcar todo el saber científico, vivimos en una etapa de especializaciones y los avances de las comunicaciones nos facilitan el acceso casi universal a la información. Lo que se gana en profundidad se pierde en extensión. Paradójicamente no es posible dominar una parte del saber sin conocer otras relacionadas con él. Para avanzar en la ciencia hay que dominar la especialidad sin abandonar conocimientos colaterales que le son imprescindibles. La física necesita las matemáticas, la química además la física de partículas y la biología requiere la química, la física y las matemáticas.

Hay que trabajar en equipo y por ello es importante en la enseñanza favorecer la interdisciplinariedad y hacer ver al alumno, en la medida de nuestras posibilidades, algo que asombraba al mismo Einstein que *siendo la matemática un producto de la mente humana, independiente muchas veces de la experiencia, se adapte tan admirablemente a los objetos de la realidad.*

A la hora de elegir la estructura y contenidos del curriculum del futuro Título de Grado en Biología, la Conferencia Española de Decanos de Biología, CEDB, en la reunión celebrada los días 14 y 15 de junio del presente año, adopta el acuerdo, entre otros, de utilizar los 60 créditos ECTS obligatorios de materias básicas para incluir en ellos aquellas *Materias Instrumentales aplicadas a la*

*Biología*, recogidas en el Libro Blanco de la titulación. Entre ellas aparece *Matemáticas y Estadística aplicadas a la Biología*. La necesidad de la estadística parece más fácil de aceptar pero reducir las matemáticas a la estadística sería un gran error.

Las matemáticas se integran en la Organización del Consejo Mundial de Uniones Científicas, *International Council of Scientific Unions*, ICSU, cuya misión es promover la actividad científica internacional y sus aplicaciones para el bien de la humanidad, a través de la *International Mathematical Union*, IMU. En el plan estratégico del ICSU para el periodo 2006-2011 se observa que todos los grandes proyectos necesitarán las matemáticas: cálculo diferencial e integral, álgebra, algoritmos, sistemas dinámicos, procesos aleatorios, caos... Para el conocimiento de la dinámica de poblaciones, como para estudiar el metabolismo glucolítico o las leyes que rigen el papel del Na o el K en la propagación del impulso nervioso, es imprescindible el uso del cálculo diferencial e integral y de los sistemas de ecuaciones diferenciales. No se puede prescindir tampoco del análisis numérico: resolución numérica de ecuaciones e integración numérica, de fácil aplicación con el ordenador. Tampoco se pueden olvidar los espacios vectoriales y el cálculo matricial, necesarios para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales, para el estudio de modelos demográficos relacionados con la conservación de especies, el aprovechamiento de recursos, el control de plagas, etc., de interés en zoología y ecología, para el estudio de la evolución de poblaciones desde el punto de vista de la genética, para representar conexiones entre las neuronas en los modelos de redes neuronales y necesarias porque además facilitan el manejo de gran cantidad de datos y ecuaciones con programas de cálculo, como DERIVE, Maple o MATLAB, ...

El siglo XXI promete ser el de los grandes avances en biología y estos avances tendrán mucho que ver con el tratamiento matemático y físico-matemático de las dinámicas metabólicas, celulares, ecológicas,... y la simulación por ordenador de los comportamientos dinámicos. Afirmaba Lobachevsky que *no hay rama de la matemática, por abstracta que sea, que no pueda aplicarse algún día a los fenómenos del mundo real* y esto ya se está viendo en investigaciones en bioquímica, biología celular, neurología, fisiología,... Las técnicas del análisis matemático, los avances en el desarrollo tecnológico y el poder utilizar ordenadores cada vez más rápidos, hoy ya se ha conseguido construir ordenadores capaces de realizar un billón de operaciones por segundo,  $10^{12}$  operaciones/seg, están permitiendo abordar el estudio de procesos biológicos muy complejos, que hasta hace pocos años no se podían tratar, por su dificultad, con los métodos tradicionales. Esta revolución tecnológica planteará nuevos problemas y exigirá nuevos algoritmos.

En la investigación del sistema nervioso humano y en concreto en el sistema cortical se están realizando investigaciones tanto a nivel neuronal como en redes nerviosas. Los estudios tratan aspectos fisiológicos, funcionales y anatómicos. Sin abandonar el estudio de la biología a pequeña escala hay que abordar sistemas complejos desde un punto de vista global, holístico. La geometría fractal y lo que se denomina ciencia de lo no lineal, el caos, están revolucionando la investigación y posibilitando el tratamiento de datos

experimentales en todas las áreas de la biología desde la neurología y la bioquímica a la genética y ecología. Las estructuras fractales y las dinámicas caóticas son una buena herramienta para tratar lo mismo la evolución de un tumor, que para estudiar el cerebro humano, el conjunto de especies que constituyen un ecosistema, las redes nerviosas, el sistema cardiaco humano, para la diagnosis de procesos patológicos en los seres vivos, para la comprensión del envejecimiento...

Los modelos matemáticos tienen la gran ventaja de que se pueden aplicar en situaciones muy diversas. Se está estudiando el tratamiento de las fluctuaciones que se producen en la biomasa en la selva tropical a lo largo del tiempo, utilizando autómatas celulares y se ha comprobado que se ajustan bien a los datos observados en la realidad. El ajuste de los datos observados a modelos matemáticos permite hacer valoraciones que son muy difíciles de estudiar directamente sobre el terreno y también observar y cuantificar los efectos debidos a cambios en los valores de las variables del modelo con el objeto de preservar y mantener la diversidad y riqueza biológica de los ecosistemas y poder realizar predicciones o evitar catástrofes.

El estudio de los sistemas dinámicos celulares, metabólicos, ecológicos,...está aún en sus primeras etapas. No hay duda de que la colaboración entre las matemáticas y la biología y la utilización de los recursos informáticos darán mucho fruto y enriquecerán tanto la biología como las matemáticas.

## **5. Métodos de enseñanza. Papel del profesor de matemáticas**

La reforma del sistema educativo universitario conlleva un cambio en el método de enseñanza. Hay que pasar de la metodología basada en la enseñanza, en la transmisión de conocimientos, a la metodología basada en el aprendizaje, la adquisición de conocimientos.

La adquisición de conocimientos no es un proceso receptivo sino, como afirma Piaget, un proceso comparable al de la asimilación fisiológica, en la cual el sujeto se apodera de un objeto, en este caso del alimento, y lo incorpora a su organismo. Del mismo modo, para conocer, el sujeto somete al objeto a los esquemas de su conducta, es decir, lo incorpora a ellos.

La persona no es un recipiente pasivo, sino un organismo que construye activamente su estructura intelectual realizando, al aprender, una síntesis orgánica. Como decía Ramón y Cajal: *Cada hombre es constructor de su propio cerebro.*

El aprendizaje no es sólo adquisición de conocimientos a través del estudio o la experiencia, sino también, la aplicación y la utilización de conocimientos, habilidades y hábitos adquiridos y consolidación de actitudes.

El aprendizaje es más una transformación que una simple adición. Se puede decir que se ha producido un aprendizaje cuando se detecte que se consigue



realizar algo que antes no se sabía, o no se podía hacer, o bien que se puede hacer de un modo más perfecto que anteriormente.

La simple memorización mecánica de frases o fórmulas carece por completo de eficacia. El aprendizaje más útil no consiste en la memorización de parcelas de información, sino en suscitar técnicas en los alumnos que les permitan abordar los problemas que se les van a presentar a lo largo de la vida y para los cuales deberán improvisar soluciones nuevas, pues el ritmo vertiginoso con que se producen actualmente los cambios, permite prever la insuficiencia de las soluciones dadas en el pasado y en el presente a la hora de resolver los problemas futuros.

La ciencia y la técnica evolucionan cada vez más rápidamente. Es muy difícil prever cuál será la evolución de ambas en el futuro, pero los investigadores del mañana deberán haber recibido una buena formación matemática, porque tendrán que adaptarse rápidamente a las nuevas circunstancias.

Para lograr un auténtico aprendizaje, el profesor debe proporcionar al alumno una experiencia controlada que suponga el empleo de conceptos nuevos en contextos familiares para que éste pueda ir elaborando un conjunto de nociones precisas.

Se debe comenzar por enseñar los conceptos más generales que van a servir de base para todo el aprendizaje posterior. Depende el aprendizaje de orden superior del dominio que se haya alcanzado en los que se basa. Decía Aristóteles: *El hombre nada puede aprender sino en virtud de lo que ya sabe*. Es necesario estructurar los temas para determinar los contenidos que son base para otros y asociar los conocimientos, pues la asociación ayuda a retener con más facilidad y a recordarlo mejor. Hay que evitar la enseñanza fragmentaria e inconexa y fomentar la interdisciplinariedad.

Es conveniente que al transmitir los conocimientos se les haga valorar a los alumnos el esfuerzo y el tiempo que ha necesitado la humanidad para llegar a ellos.

Hay que tener en cuenta, en la medida de lo posible, las diferencias individuales de los alumnos. Éstos llegan a la Universidad con diferentes tipos y grados de capacidad intelectual, con diversos niveles de madurez y múltiples inclinaciones. Se deben utilizar todos los medios que tengamos a nuestro alcance para subsanar las deficiencias de base sin abandonar a los alumnos que acceden en peores condiciones. Para ello se puede ofrecer a los alumnos unas horas de preparación, voluntarias, en las que se les dé la oportunidad de utilizar programas informáticos, preguntas preparadas y también enlaces a páginas Web que les conduzcan a los conceptos que deben asimilar, con la finalidad de que se autoevalúen y corrijan los errores.

¿Se puede aprender de los errores? Por supuesto que sí, y si el alumno tiene interés y tiene a su lado un profesor que vigile su trabajo y le oriente, conseguirá hacerlo en menos tiempo, de este modo además se fomenta la relación profesor-alumno que es necesaria para que el alumno con problemas

trate de superarse involucrándose activamente en su aprendizaje. En el aprendizaje de las matemáticas es bueno seguir el consejo atribuido a Benjamin Franklin: *Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo.*

El profesor puede ayudar al alumno suministrándole una serie de experiencias adecuadamente seleccionadas y dispuestas de modo que produzca en él un conflicto cognitivo que le proporcione la necesidad de realizar un aprendizaje, siendo éste más efectivo y rápido que el logrado por medio del puro descubrimiento. La actuación del profesor proporcionará una mayor economía de tiempo y una mejor presentación de los temas.

Al orientar las experiencias, el profesor deberá tener en cuenta que éstas no sean tan complejas ni tan sencillas que no estimulen al alumno, para lo cual ha de conocer de antemano el nivel de partida y esforzarse por activar y mantener su atención que es un requisito indispensable en todo aprendizaje. El profesor de matemáticas en particular se debe esforzar por hacer comprender al alumno la importancia, la utilidad y el interés de las matemáticas para su formación. De este modo el alumno estará más motivado para realizar el esfuerzo que supone su estudio.

Si no se puede abandonar a los alumnos que acceden en peores condiciones, mucho menos desatender a los más capacitados y mejor formados o hacerles perder el tiempo. Forjar cerebros originales es el gran triunfo del profesor. Decía Ramón y Cajal que su padre le enseñó desde pequeño que *la ignorancia es la mayor de las desgracias y enseñar el más noble de los deberes.*

Este modo de proceder, esencial para una formación satisfactoria, exige al profesor ingenio y esfuerzo. También es necesaria una adecuada retroalimentación, basada en el conocimiento de los resultados, que estimulará y guiará al alumno hacia la autoevaluación.

Tenemos que tratar de conseguir una adecuada formación de los alumnos que les conduzca a un aprendizaje consolidado y les ponga en condiciones de igual a igual o si es posible con una mejor preparación que los graduados y postgraduados de otros países de la Unión Europea.

¿Buscamos formar profesionales o fomentar la vocación por la Biología? Benavente decía: *Cajal es el mejor ejemplo de la diferencia que existe entre la profesión y la vocación. Profesión es de lo que se entiende y vocación es lo que se ama.*

En el momento actual, la información está al alcance de todos con gran facilidad, por lo que tiene más importancia el cómo que el qué se enseña. La implantación de los ECTS, y la reforma que lleva consigo, ofrece la oportunidad de ayudar mejor a los alumnos en su formación integral. La acción tutorial, que esta reforma potencia, permite al profesor realizar funciones que transmiten ilusión, curiosidad, gusto por aprender..., ayuda a estructurar y vigilar el aprendizaje de los alumnos impidiendo la simple memorización mecánica, fragmentada e inconexa.



No es baladí el esfuerzo que exige al profesorado la implantación del proceso de convergencia al EEES, el uso de las nuevas tecnologías y la atención personalizada a los alumnos. Esto es algo que se debería tener en cuenta en la reforma del Plan de Dedicación Académica, PDA. Dirigir y vigilar el aprendizaje autónomo de cada alumno y seguir este trabajo individual conlleva un esfuerzo grande y muchas horas de dedicación del profesorado.

Tampoco es insignificante el tiempo de trabajo por parte del alumno que requiere el uso de los nuevos métodos de enseñanza y en especial el estudio de las matemáticas. Y esto hay que tenerlo en cuenta en la asignación del número de créditos. Es importante reconocer que las materias que exigen mayor esfuerzo tienen que disponer del tiempo necesario para la explicación y la asimilación, de lo contrario lo único que se conseguirá es aumentar el fracaso.

Nunca podrá ser sustituido el profesor en su papel de presentador, animador, tutor, orientador, pues la relación humana es imprescindible en el proceso educativo. Pero siendo el papel del profesor de gran importancia, el aprendizaje no se producirá sin la colaboración de quien aprende, requiere un gran esfuerzo personal por parte del alumno. Nadie puede aprender por él. Si no lo hace, cualquier reforma será inútil.