

## Coordinación interdisciplinaria de aplicaciones biomatemáticas

Juan Navas<sup>1</sup>, Irene de la Haza<sup>2</sup>, Ana M. Abril<sup>3</sup>, Jesús M. Pérez<sup>4</sup>, Antonio Sánchez-Baca<sup>2</sup>, Mónica Bullejos<sup>2</sup>, José M. Quesada<sup>1</sup>, Julio Alcántara<sup>4</sup>, Antonio García-Fuentes<sup>4</sup>, Eusebio Cano<sup>4</sup>, Juan B. Barroso<sup>2</sup>, Emmanuel Serrano<sup>4</sup> y Francisco J. Esteban<sup>2</sup>.

*Departamentos de <sup>1</sup>Matemáticas, <sup>2</sup>Biología Experimental, <sup>3</sup>Didáctica de las Ciencias y <sup>4</sup>Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, 23071, Jaén, España.*

[festeban@ujaen.es](mailto:festeban@ujaen.es)

## PRESENTACIÓN

La definición más simplista de la interdisciplinariedad podría resumirse como "interacción entre dos o más disciplinas", pero este punto de vista es extremadamente *naïf* y podría llevarnos a error. Además de una interacción entre las disciplinas debe existir intercomunicación y enriquecimiento recíproco entre ellas. En los actuales currículos oficiales de nuestro país, tras el listado de áreas de conocimiento, se incide en la necesidad de que los contenidos se deben de incorporar al proceso educativo en un enfoque global para así permitir abordar los problemas, situaciones y acontecimientos dentro de un contexto y en su totalidad.

Muchos autores a lo largo de las últimas décadas han planteado diferentes formas de aplicar la interdisciplinariedad para que ésta fuese más eficaz en el aula. Follari (1980) señaló dos modalidades básicas de interdisciplinariedad, una más enfocada a la conformación de un nuevo objeto teórico entre dos ciencias previas, y una segunda basada en aplicar a un mismo objeto práctico de elementos teóricos de diferentes disciplinas; es esta segunda forma de ver la interdisciplinariedad la que muchos autores posteriores han apoyado y la que creemos puede ser la manera de hacer coincidir las diferentes disciplinas alrededor de un mismo contenido concreto y así ser más productiva en el aula.

El alcance de la aplicación de la interdisciplinariedad es tal que algunos autores aseguran que ésta es uno de los medios para que todos accedan al saber global, y por tanto para que una sociedad sea libre (Arana, 2001). Es importante que los currículos oficiales incluyan e insistan sobre la necesidad de la interdisciplinariedad, así como que la comunidad científica se plantee su significado concreto, definición o formas de desarrollarla. Pero para que la interdisciplinariedad y la globalización del currículo sea un hecho, además y sobre todo se necesita que el profesorado esté dispuesto a llevarlo a cabo y plasmarlo en el aula.

Está claro que existen limitaciones y dificultades y que éstas vienen ya impresas en el currículo oficial puesto que éste tiende a presentar el conocimiento dividido en compartimentos disciplinares, además de las dificultades propias de los comportamientos de los especialistas académicos, muchos de los cuales pueden ver el hecho de la interdisciplinariedad como una intromisión en su campo de conocimiento y de aceptarla, suele ser a partir de un saber centrado en la disciplina que ellos dominan (nada más lejano de la idea que nos ocupa).

En el Informe de Autoevaluación de la Titulación de Biología de la Universidad de Jaén se recoge explícitamente la falta de coordinación entre los

programas de las asignaturas, especialmente en el caso de asignaturas afines de cursos diferentes. A continuación se reproducen literalmente y se remarcan los puntos referentes a la falta de coordinación en el informe:

#### PROGRAMA DE FORMACIÓN

(.../...)

(Pág. 12)

2.2.4 No existen procedimientos escritos para coordinar los programas de las asignaturas. En todos los casos, sin embargo, los profesores implicados en una misma asignatura coordinan la programación, por lo que no se detectan discrepancias entre programas de la misma asignatura para diferentes grupos. De hecho, hay un solo programa publicado para cada asignatura. En cuanto a la coordinación de asignaturas diferentes, sólo llega al aprobado, según los profesores, en el caso de asignaturas del mismo curso (evidencia nº 19), pero suspende según el mismo sector en el caso de asignaturas afines de cursos diferentes. También los alumnos dan algo más de un 2 sobre 5 a este aspecto (evidencia nº 17). Desde el curso 04-05 existe la figura de Tutor de Titulación, dentro de cuyas competencias (Artículo 13 de la Normativa del Gabinete de Orientación Universitaria de la UJA), está el estudio de los programas de las asignaturas ofertadas y la bibliografía, con vistas a armonizarlos. Sin embargo, sería deseable un protocolo más detallado, que incluyera una coordinación interdepartamental, con reuniones y actas.

(pág. 16)

#### PUNTOS DÉBILES

(.../...)

2.2.4 No existen procedimientos escritos para coordinar los programas de las asignaturas.

(Pág. 17)

#### ACCIÓN DE MEJORA

(.../...)

2.2.4 Creación de una Comisión que evalúe la coordinación de los programas de las asignaturas.

En el segundo ciclo de la Licenciatura de Biología se imparten diferentes asignaturas que, aunque presentan contenidos muy distintos, y a su vez necesarios para la formación integral de un/a Biólogo/a, en ellas subyace una metodología y abordaje común: las aplicaciones biomatemáticas. Dada la base como herramienta común, así como la dificultad intrínseca del razonamiento abstracto matemático, los profesores que participamos en la docencia de las mismas hemos considerado oportuno el planteamiento de un proyecto de innovación docente basado en la coordinación de las aplicaciones matemáticas en los campos de conocimiento propios de dichas materias. A continuación se indican las asignaturas implicadas:

- Bioquímica y Biología Molecular
- Biología Celular e Histología Aplicada
- Genética Aplicada
- Genética de Poblaciones

- Geobotánica
- Gestión de Pesca Continental y Caza, y Parasitología Animal
- Metodología de Evaluación de Ecosistemas
- Modelos Matemáticos en Biología
- Pastos y Forrajes

Para llevar a cabo el proyecto hemos contado con la colaboración voluntaria de alumnos de 2º ciclo que han estado matriculados en la asignatura de Modelos Matemáticos en Biología y en algunas otras de las materias que serán objeto de coordinación. Su opinión ha sido muy útil en el enfoque, la redacción y la presentación del material.

## **OBJETIVOS**

- Crear de un grupo de trabajo interdisciplinar que desarrolle y coordine los contenidos afines de asignaturas que incluyen aplicaciones Biomatemáticas.
- Incluir dichos contenidos en la plataforma web de la UJA de modo que queden a disposición de profesores y estudiantes de las diferentes asignaturas implicadas.

## **DESARROLLO**

El proyecto ha centrado en el desarrollo de contenidos comunes de aplicación entre la asignatura Modelos Matemáticos en Biología y cada una de las demás asignaturas participantes. A continuación se muestran los grupos de modelos matemáticos básicos desarrollados y la relación interdisciplinar:

- Dinámica de Sistemas: Biología Celular; Bioquímica y Biología Molecular; Histología Aplicada; Genética de Poblaciones; Ecología de Poblaciones; Manejo de Fauna; Metodología de Evaluación de Ecosistemas; Parasitología Animal.
- Modelos Matriciales:
  - Cadenas de Markov: Biología Celular; Bioquímica y Biología Molecular; Genética Aplicada; Genética de Poblaciones.
  - Matrices de Leslie: Gestión de Pesca Continental y Caza; Ecología de Poblaciones; Genética de Poblaciones; Metodología de Evaluación de Ecosistemas.
  - Otros sistemas matriciales: Metodología de Evaluación de Ecosistemas; Geobotánica; Pastos y Forrajes.
- Dimensión Fractal: Histología Aplicada, Biología Celular; Bioquímica y Biología Molecular; Pastos y Forrajes.

Los ejemplos concretos que se han utilizado para desarrollar los modelos (detallados en el apartado de Resultados) se han seleccionado a lo largo de diferentes reuniones periódicas del grupo de trabajo formado por profesores y estudiantes sobre la base de los previamente utilizados de modo particular en cada

una de las materias. Se ha planteado la oportunidad de desarrollo de todos ellos y se seleccionaron sólo aquellos que aportaban carácter y coherencia interdisciplinar; se ha tenido en cuenta especialmente la opinión de los estudiantes que ya habían cursado las asignaturas objeto de coordinación.

Una vez seleccionados los ejemplos pertinentes, el profesorado responsable de cada asignatura sobre la que se iban a aplicar, ha planteado el enunciado del problema y su posible resolución desde la perspectiva propia de su materia. Posteriormente el profesorado de la asignatura de Modelos Matemáticos en Biología ha realizado un abordaje desde el punto de vista matemático con el objetivo de extraer del mismo los parámetros de aplicación biológica y de obtención de implicaciones teóricas del modelo.

Los programas más utilizados para el desarrollo de los ejemplos han sido Vensim®, Populus® y Mathemática®.

Por último, se hizo una nueva puesta en común y se redactó la versión definitiva del enunciado y su posible resolución interdisciplinar e integradora. Todo el trabajo realizado ha generado un manual que se encuentra disponible en papel y en versión digital y que ha sido puesto a disposición de todo el profesorado que ha participado en la experiencia. Además, se ha confeccionado una página web (disponible en la dirección <http://biosystems.ujaen.es/biomath/>) donde el alumnado de la Universidad de Jaén tiene acceso a todo el material adecuadamente clasificado.

## RESULTADOS

Desde el punto de vista de desarrollo de modelos matemáticos para biología los resultados son evidentes. Se han recopilado una gran cantidad y variedad de modelos discretos y continuos correspondientes a cada uno de los temas del programa y que aparecen diseminados en el resto de las materias que han participado en la experiencia.

Para mayor organización, los modelos matemáticos analizados se han agrupado por grandes Áreas de conocimiento:

- Modelos matemáticos en Biología Experimental:
  - Actividad de un ionóforo
  - Sinapsis espontánea
  - Modelo neuronal de Fitzhugh-Nagumo
  - Modelo Wright-Fisher de la deriva genética
  - Herencia autonómica
  - Cinética enzimática de Michaelis-Menten
  - Dimensión fractal de células de astrocitoma
- Modelos matemáticos en Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología:
  - Tablas de vida de Thar
  - Evolución de una cohorte
  - Crecimiento vegetal estructurado

- Dinámica de claros y sucesión forestal
- Dinámica presa-depredador
- Dinámica parásito-hospedador
- Ecología de una reserva natural
- Dimensión fractal en Ecología de Paisajes
- Modelos Matemáticos en Biomedicina:
  - Evasión Glioma-Inmune
  - Ingeniería tisular de cartílago
  - Interacción osteocitos-osteoblastos en remodelación ósea
  - Dinámica Glucosa-Insulina
  - Infección vial
  - Acumulación de plomo en tejidos
  - Dimensión fractal en Alzheimer
  - Dimensión fractal en Esclerosis Múltiple

En los últimos años han sido numerosos los modelos matemáticos propuestos para estudiar la evolución de determinados sistemas. Entendemos como sistema a un conjunto de elementos junto con las leyes que lo gobiernan. Si el sistema evoluciona con el tiempo, recibe el nombre de sistema dinámico. Básicamente, un modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que representan e interpretan el comportamiento de un sistema dinámico. A principios de los años setenta el ingeniero y matemático del Instituto Tecnológico de Massachusset Jay Forrester propuso una nueva metodología para analizar los Sistemas Dinámicos basada en conceptos mecánicos tales como niveles, flujos y mecanismos de retroalimentación. Con ayuda de sus colaboradores diseñaron un programa de ordenador, conocido con el nombre de Stella, que facilita la confección y análisis de los modelos. Con esta técnica los aspectos puramente matemáticos pasan a un segundo plano, y por tanto, la clave está en detectar las variables que intervienen en el modelo así como la manera en la que éstas se relacionan. Finalmente, con todo ello, se elabora un diagrama conocido con el nombre de diagrama causal o de Forrester que se puede visualizar con Vensim (programa similar a Stella) y que se distribuye de forma gratuita en <http://www.vensim.com>

Muchos de los modelos abordados han sido extraídos y adaptados de diferentes fuentes bibliográficas, algunos otros, como por ejemplo el modelo Evasión Glioma-Inmune, han sido totalmente generados por algunos miembros del grupo de investigación. Este último modelo se detalla a continuación, resumido y adaptado de Navas y otros, 2005.

Como ya se ha mencionado, existen diferentes modelos que pueden explicar la evolución de determinados sistemas, y el modelo Evasión Glioma-Inmune intenta explicar la evolución de células cancerosas. Estos modelos en concreto han crecido en diversidad y dificultad dependiendo del tejido donde esté localizado el tumor y la etapa de crecimiento en que se encuentra. Sin embargo, en una primera fase su volumen, o el número de células cancerosas, puede modelarse haciendo uso de los modelos más elementales de crecimiento de poblaciones, como son el modelo logístico o el de Gompertz. En los modelos elementales de crecimiento tumoral sólo se tiene en cuenta la población de células tumorales. Sin embargo, se pueden construir modelos más realistas introduciendo la respuesta del sistema inmune a

las células cancerosas, llevada a cabo por células asesinas de diversos tipos, como son los linfocitos T citotóxicos y macrófagos asociados a los tumores. Esta nueva población de células inmunes realizan un efecto depredador sobre las células tumorales. Son muchos los modelos que describen la evolución de estas dos poblaciones, gran parte de ellos basados en el modelo clásico presa - depredador o de Lotka - Volterra.

En un modelo elemental para estudiar la evolución de las dos poblaciones de células (tumorales e inmunes), se supone, en primer lugar, que el número de células inmunes es constante. Además, en ausencia de células inmunes la población de células tumorales se desarrolla según un modelo que tiene en cuenta la tasa de crecimiento y la capacidad de carga del sistema. Cuando entra en juego la población de células inmunes, se produce la depredación y el ritmo de crecimiento del tumor disminuye según una expresión matemática. El modelo también considera la intensidad con que las células inmunes eliminarán a las células tumorales.

Pero este modelo presenta el inconveniente de suponer que el número de células inmune es constante; son muy variadas las hipótesis que se establecen sobre el ritmo de crecimiento de la población de células inmunes, dando lugar a distintas ecuaciones diferenciales; en el modelo que aquí se presenta se ha utilizado una ecuación diferencial (Ortega, 1999) que tiene en cuenta la velocidad de creación de células citolíticas por el sistema inmune, el coeficiente de eliminación de dichas células así como el coeficiente de depredación que gobierna la acción del tumor sobre las células inmunes. Por último el modelo Evasión Glioma-Inmune también ha tenido en cuenta el retardo de la respuesta del sistema inmunológico ante la aparición de células tumorales.

Este y todos los demás modelos matemáticos se encuentran accesibles en la página web <http://biosystems.ujaen.es/biomath/>; en caso de estar interesado/a, puede solicitar la contraseña enviando un e-mail a [festeban@ujaen.es](mailto:festeban@ujaen.es).

## **CONCLUSIONES**

Con este proyecto se ha llevado a cabo la coordinación entre programas de asignaturas afines de cursos diferentes impartidas por profesorado diferente, de distintos Departamentos, e incluso Facultades, lo cual ha hecho realidad una propuesta de mejora emanada del proceso de Evaluación institucional, llevada a cabo por el Comité de Evaluación Interno, y enmarcada dentro del criterio de evaluación de Planificación de la Enseñanza. Además, se aporta un enfoque integrador a nivel de Titulación, tanto a nivel de profesorado, apostando por la interdisciplinariedad, como a nivel de materiales, al unificar la nomenclatura, utilizar los mismos conceptos, y usar una misma metodología de estudio, lo cual nos ha permitido ofrecer a nuestro alumnado una visión más global de las materias impartidas por el profesorado implicado en este Proyecto de Innovación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Financiado por el Plan de Innovación Docente de la UJA. Agradecemos la participación de los siguientes estudiantes: Carmen María Conejero Villa, Jesús Cobo Molinos, Isabel Endrino Martínez, Araceli García Castro, Macarena Garrido García, Eva Garrido Palomera, Judith M<sup>a</sup> Martínez Funes, Dévora Martos Pérez,

Irene Montes Valcárcel, Ismael Rodríguez De La Rosa, Purificación Sánchez García, Marta Sánchez Sánchez, y Carlos Serrano Sánchez.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Arana, J. Seminario impartido en Palencia el 5 de abril de 2001.  
<http://www.unav.es/gep/PosibleInterdiscip.html>
- Follari, R. 1980. Interdisciplinaridad, espacio ideológico. En "Simposio sobre Alternativas Universitarias" UAM-Azcapotzalco, México.
- Informe de Autoevaluación de la Titulación de Biología de la Universidad de Jaén.  
<http://www.ujaen.es/centros/facexp/titulaciones/evaluacion%20biol.htm>
- Navas, J., Quesada, J. M., Goñi, J., Vélez de Mendizábal, N., Villoslada, P., Esteban, F. J. Glioma-immune evasion: a system dynamics approach. Proceedings of the II International Conference on Computational Bioengineering, 699-710, Rodrigues et al. (Eds), IST Press. 2005.
- Ortega, H. Un modelo logístico para el crecimiento tumoral en presencia de células asesinas. 1999. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 3, 61-67.