



MATEMÁTICAS EN AGROBIOTECNOLOGÍA. FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS GENERALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO BAJO PRINCIPIOS DE INTERDISCIPLINARIEDAD

Eje 3: Interdisciplina y articulación entre materias

Esteban Baragatti^a, Leonardo Gualano^b, Augusto Graieb^{a, c}, Leandro Andrini^c*

- a. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.
- b. Ingeniería en Agrobiotecnología; IBB-INTECH, Chascomús, Universidad Nacional de San Martín.
- c. Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional Arturo Jauretche.

* @cebaragatti@gmail.com

Palabras claves: ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA, AGROBIOTECNOLOGÍA, INTERDISCIPLINA, MODELOS

RESUMEN

En este trabajo fundamentaremos conceptualmente la posibilidad de realizar un curso de matemáticas para una carrera de biotecnología, en particular agrobiotecnología, que contemple: la conformación de equipos docentes interdisciplinarios, la enseñanza basada en modelos complejos, la integración de la computadora dentro del proceso enseñanza/aprendizaje, la revisión y rediseño del currículo tradicional de cursos iniciales de matemática destinados a estudiantes de otras disciplinas, la revisión continua de contenidos de acuerdo a los diferentes niveles de cada cohorte de estudiantes, la integración horizontal/vertical de contenidos en relación a la currícula de la carrera, la evaluación continua y permanente, el aprendizaje significativo y en grupo, y la integración conceptual mediante presentación de proyectos de aprendizaje-investigación.

También indicaremos tentativas y exploraciones en su implementación, las que serán abordadas exhaustivamente en dos trabajos complementarios presentados en estas jornadas.

INTRODUCCIÓN

Toda propuesta e implementación articulada de un curso, sea cual fuere éste, contiene dimensiones –interactuantes unas con otras- de índole didáctica, pedagógica, ontológica y

epistemológica, sin menoscabo de otras dimensiones como son las políticas académico-institucionales que coadyuvan al desarrollo y progreso de cada una de las cuatro dimensiones antes mencionadas.

De manera esquemática y simplificada, se puede indicar que la enseñanza de las matemáticas, entendida desde algunas prácticas y concepciones docentes, puede dividirse *grosso* modo en tres planos:

- a. Enseñanza de una disciplina autónoma, tanto en lo ontológico como en lo epistemológico, y auto-referencial.
- b. Enseñanza de una disciplina subsidiaria de otras disciplinas (físicas, químicas, biológicas, etc.) sin objeto, sin epistemología y estructurada de manera procedimental.
- c. Enseñanza de una disciplina cuya autonomía es el producto de un proceso histórico-cultural y de imbricadas relaciones ontológicas y epistemológicas con otras disciplinas.

Tal se verá a lo largo del texto, la propuesta que se detalla en este trabajo está centrada, primordialmente, en lo expresado sintéticamente en el punto c, que hace eje en el enfoque de sistemas y procesos complejos, en los que se construyen, constituyen, “estructuran” y “re-estructuran”, en el tiempo, dominios del conocimiento/saber por vía de todas las interrelaciones posibles sin pérdida de cualidades que le son propias a las disciplinas inter-actuales (R. García, 2000, 2007; E. Morín, 2008). Por otro lado, lo esencial de lo presentado en este trabajo se encuentra documentado en Graieb *et al.* (2012).

INGENIERÍA EN AGROBIOTECNOLOGÍA

La Ingeniería en Agrobiotecnología es una carrera, cuya primera cohorte de once alumnos comenzó este año 2012. Depende de la Universidad Nacional de San Martín y se dicta en el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas e Instituto Tecnológico de Chascomús. Consta de diez cuatrimestres, con un régimen de materias cuatrimestrales (16 semanas por cuatrimestre), de modalidad presencial. La carrera tiene distribuida sus asignaturas en tres trayectos y cinco bloques curriculares, de forma que la materia *Tópicos de Matemática* se encuentra encuadrada dentro del trayecto de Conocimientos Básicos en el bloque de Ciencias Básicas (Graieb *et al.*, 2012).

INTERDISCIPLINARIEDAD CONSTITUTIVA DEL CUERPO DOCENTE

La interdisciplinariedad definida como proceso que acopla sujeto(s)-objeto(s) de conocimiento, presupone la integración de diferentes enfoques disciplinarios, lo que requiere la conformación de equipos en los que sus miembros sean especialistas en cada una de las disciplinas constitutivas (M.C. Moraes, 2008; R. García, 2007). Así puede concebirse cualquier problemática como un sistema cuyos elementos están interdefinidos y cuyo estudio requiere de la coordinación de enfoques disciplinares que deben ser integrados bajo un enfoque común (R. García, 2007). Además, según la concepción expresada por Fourez (2005), la interdisciplinariedad, en solidaridad entre lo didáctico-pedagógico y lo epistemológico, no pone a las situaciones-problema al servicio de un aprendizaje disciplinar, sino que atiende al aprendizaje de la resolución de problemas apelando a la diversidad de especialidades.

Bajo esta perspectiva, fue propuesta a los máximos responsables de la carrera la posibilidad de integrar un grupo docente comprendido por un licenciado en Matemática, un doctor en Biología Molecular y un doctor en Física. Posteriormente solicitamos la incorporación de un auxiliar alumno (estudiante de la Ingeniería en Agrobiotecnología).

CONTENIDOS, CONFORMACIÓN CURRICULAR, METODOLOGÍA DIDÁCTICO-PEDAGÓGICA, Y EVALUACIÓN

Según Juan Godino (2009), se deben tener en cuenta las siguientes facetas para analizar los procesos en la educación en matemáticas:

- a. Epistémicos: conocimientos matemáticos relativos al contexto institucional en que se realiza el proceso de estudio y la distribución en el tiempo de los diversos componentes del contenido (problemas, lenguajes, procedimientos, definiciones, propiedades, argumentos, etc.).
- b. Cognitiva: conocimientos personales de los estudiantes y progresión de los aprendizajes.
- c. Afectiva: estados afectivos (actitudes, creencias, valores) de cada alumno con relación a los objetos matemáticos y al proceso de estudio seguido.

- d. Mediacional: Recursos tecnológicos y asignación del tiempo a las distintas acciones y procesos.
- e. Interaccional: Patrones de interacción entre el profesor y los estudiantes y su secuenciación orientada a la fijación y negociación de significados.
- f. Ecológica: Sistema de relaciones con el entorno social, político, económico, etc., que soporta y condiciona el proceso de estudio.

El punto **a.** involucra, entre otros aspectos, la selección de contenidos, es decir: el proceso de jerarquización de unos contenidos por sobre otros, obrado por un criterio de selección/importancia y/o pertinencia, bajo una discusión que excede al docente particular y su práctica áulica. La currícula será funcional a un proyecto más general, cuyo establecimiento –de forma explícita o implícita– involucra debates dentro y fuera de la comunidad universitaria en el contexto de algunas preguntas tales como qué educación se quiere para qué estilo de universidad dentro de qué marco social (Varsavsky, 1972; Fourez, 2005).

El punto **b.** conduce a propósitos de evaluación permanente, para determinar las progresiones en aprendizaje, donde estudiantes + docentes diluciden los progresos y los obstáculos. En particular, el punto **c.** se relaciona íntimamente con aquellas facetas que pueden ser detectadas en el punto **b.**, en particular aquellas actitudes de rechazo que condicionan el proceso de enseñanza/aprendizaje.

Pero para poner en práctica el proceso que dé unidad a los puntos anteriores se requiere de recursos y tiempos propios, contemplados en cada acción (punto **d.**), con un acuerdo didáctico-pedagógico establecido entre estudiantes y docentes (punto **e.**) en un sistema general de relaciones que condicionan y soportan el proceso de estudio (punto **f.**).

Sobre esta base trabajamos en:

Selección de contenidos

Peralta Coronado (2001) señala, entre las razones por las que no atraen las matemáticas que se enseñan, su desconexión con la realidad. La enseñanza de las matemáticas en la universidad sigue, en general, una trayectoria independiente y autónoma al resto de la currícula, configurando compartimentos estancos debido a la enseñanza de métodos y procedimientos en condiciones restrictivas y endógenas.

Sobre la dificultad que plantea esta desconexión propusimos en primer término establecer algunas ideas centrales que guiaran la selección y jerarquización de los contenidos. Para ello nos basamos, por un lado, en los programas correspondientes a las demás asignaturas de la carrera, con la idea de identificar posibles necesidades de conceptos y herramientas matemáticas que les sean solidarias, y, por otro lado, en la dinámica concepto-procedimental del propio grupo de alumnos. Esto nos llevó a una organización temática en dos grandes núcleos conceptuales: (a) derivación-integración-diferenciación; y (b) planteo de modelos matemáticos aplicados a las ciencias de la vida mediante ecuaciones en diferencia y ecuaciones diferenciales.

Partimos de la pregunta por qué y para qué se enseña/estudia análisis matemático (López-Gay y Martínez Torregosa, 2005) en una carrera de estas características. Esto implica varias dimensiones, pero sobre todo la conexión de las matemáticas con aspectos de modelado de situaciones específicas en las que se pretende estudiar la interdependencia de variables en situaciones que se apartan del comportamiento lineal o proporcional. Para “construir” un modelo de una situación concreta, se necesita tanto entender la situación como tener cierto dominio conceptual y procedimental.

Bajo estas premisas, pudimos trabajar el concepto de función junto a contextos extramatemáticos en los cuales las funciones pueden ser “utilizadas”, tanto, así como sus limitaciones y las implicancias de su uso (reducción, matematización, etc.). Al trabajar las funciones desde esta perspectiva se destacan dos aspectos positivos: **1.** todas las operaciones (refiriéndonos a operaciones intramatemáticas: paso al límite, derivación, suma, etc.) sobre ellas pueden adquirir significados que trascienden el contexto matemático, y circunscribir el desarrollo de cada concepto tanto en términos de su aparición histórica como en los usos del mismo; **2.** el sistema real aporta riqueza a los distintos de registros semióticos necesarios para trabajar las operaciones cognitivas sobre los sistemas de representación (Duval, 1993; Gualano *et al.*, 2017).

Mediante el relevamiento realizado sobre los programas de las materias de años superiores, descubrimos que muy pocos de los contenidos de los cursos “normales” de matemática se utilizan a posteriori en la parte de modelado-problematización de las disciplinas biológicas (Bürger, 2009; Edelstein-Keshet, 2005; Murray, 2002 y 2003). Esto nos condujo al planteo de la segunda parte del curso, incluyendo estos tópicos y ligándolos a los trabajados antes.

Para ello seguimos, en general, algunos de los temas abordados por Edelstein-Keshet (2005), tales como teoría de ecuaciones en diferencia lineales y teoría de ecuaciones en diferencia no lineales aplicada la descripción de problemas biológicos, y ecuaciones diferenciales aplicadas al modelado de procesos biológicos continuos. De esta manera, introducimos aspectos no contemplados en el programa, pero utilizados explícitamente en materias que se dictan en paralelo o en semestres subsiguientes, con la pretensión de que la enseñanza de las matemáticas se encuentre en función de las necesidades inherentes de la carrera, más allá del estudio específico de la disciplina en sí (también abordado dentro de la cursada).

Este trabajo de planificación, en función de una integración horizontal y vertical de la materia, se construye a partir del trabajo de un grupo interdisciplinar, pero es algo que aún en facultades con una larga trayectoria no suele hacerse, a pesar de ser la falta de integración un problema diagnosticado.

Nuestra propuesta de selección de contenidos la realizamos, también, con el objetivo de desestructurar el paradigma del “entrenamiento” puro, basado únicamente en la resolución de ejercicios. Pensamos que esa metodología atenta fuertemente contra la conceptualización y los procedimientos que trascienden el “hacer bien las cuentas”. Plantear y/o interpretar un modelo, a través de las variables que lo describen mediante funciones y/o variaciones de funciones requiere –a la vez de habilidades propias del manejo matemático- un dominio de campos conceptuales que superan lo meramente instrumental y mecánico de los enfoques tradicionales de resolución de problemas.

Metodología propuesta para el trabajo general en el aula entre estudiantes y docentes

El esquema general de una clase típica de *Tópicos de Matemática* puede describirse como una secuencia en la que se suceden: un diagnóstico inicial (en general fue individual aunque hubo diagnósticos grupales); el planteo de una o más situaciones-problema a resolver en grupos por los estudiantes; una puesta en común de las problemáticas planteadas; y una posterior complejización/generalización de los conceptos desarrollados de manera de promover la aplicación de los mismos en situaciones diferentes de la original. Frecuentemente se promovió, hacia el final de este proceso, una reflexión que podríamos

llamar compatible con el desarrollo de la metacognición sobre los temas trabajados. Para un mayor detalle de los fundamentos de la metodología utilizada ver Graieb *et al.* (2012).

Los materiales: aspectos históricos, redacción, la bibliografía

Dadas las características del curso planteado, se elaboró un material escrito de tipo autoconsistente. Este material incluye todos los contenidos trabajados, y fue poniéndose a disposición de los estudiantes clase por clase, a posteriori del trabajo en el aula. En la redacción del mismo procuramos incluir aspectos históricos del desarrollo de los conceptos de función y diferencial, mostrando cómo a lo largo del tiempo la comunidad científica fue entendiendo estas ideas, y procurando aprovechar los matices entre las distintas concepciones para aclarar su significado. Por otro lado, siguiendo las propuestas de Edelstein-Keshet (2005), en virtud de los contenidos mínimos necesarios para otras materias de la carrera, se elaboró un material para abordar los temas de modelado mediante el uso de ecuaciones en diferencia y ecuaciones diferenciales.

Implementación del uso de los programas Mathematica y Excel

Mediante diferentes actividades, y generando guías/actividades apropiadas, se trabajó con los programas Mathematica y Excel. En particular, al primero se lo utilizó debido a que constituye una poderosa herramienta para el aprendizaje y aplicación de las matemáticas. Se trabajaron gráficos de funciones, aproximaciones polinomiales, resolución de integrales, ecuaciones, y sistemas de ecuaciones diferenciales. Excel constituye una poderosa herramienta para generar lista de datos a partir de definiciones recursivas, por lo que fue ampliamente utilizado en las actividades relacionadas con ecuaciones en diferencia y sistemas de ecuaciones en diferencia.

Proyectos llevados adelante por los estudiantes

En el último tramo de la materia, durante la cursada 2012 (debido a que luego se unificó en carga horaria durante todo el mes de febrero, hasta volver a ser cuatrimestral en 2016), y a la par que se iban desarrollando los contenidos necesarios para su concreción, planteamos a los estudiantes temáticas relativamente abiertas para ser trabajadas como proyectos en

grupo. El objetivo de cada uno de estos trabajos era aplicar las nociones trabajadas en clase al modelado matemático de un sistema complejo (por ejemplo, uno de los temas trabajado por uno de los grupos fue “La dinámica de una población de peces en la laguna de Chascomús, afectada por el vertido de desechos”). Cada grupo trabajó con la tutela de uno de los miembros del equipo docente; hizo inicialmente una pequeña investigación sobre la problemática extramatemática y su importancia; luego explicitó el recorte a efectuar sobre el sistema, y por último propuso algún tipo de modelo matemático que representara la situación. En función de las características del problema, cada grupo aplicó a su sistema procedimientos analíticos (identificación de puntos estacionarios y análisis de su estabilidad, por ejemplo) y/o trabajó con resoluciones numéricas obtenidas mediante programas computacionales, o describió los procedimientos de aproximación analítico-numérica para dar cuenta de las soluciones de ecuaciones diferenciales involucradas. Como cierre de esta actividad, cada grupo expuso su trabajo –a modo de seminario- ante los docentes de la materia y ante la comunidad del IIB-INTECH.

Evaluación

La metodología de evaluación elegida, y explicitada a los estudiantes, para aprobar la cursada fue el seguimiento continuo, a partir de los diagnósticos y contra-diagnósticos, de la actividad desarrollada en clase, de la participación en grupo, de la entrega en tiempo y forma de los trabajos prácticos diagramados, del desempeño en la construcción de la actividad proyecto, y del desenvolvimiento en las exposiciones y discusiones llevadas a cabo tanto en las sucesivas clases como en la actividad de exposición-seminario.

Los estudiantes terminan acreditando la aprobación de la materia mediante un final oral, defendiendo una guía práctico-conceptual diagramada para cada uno de ellos y que cubre los principales tópicos abordados, además de otras preguntas relacionadas con la materia. La nota final surge a partir de un promedio general y contempla la defensa oral del examen y el desarrollo acreditado en el aula, considerándose el “manejo” conceptual, las “habilidades” técnicas, y la actitud de trabajo (grupal e individual).

REFLEXIONES FINALES

A modo de conclusión diremos que este tipo de propuestas, se ven favorecidas en contextos institucionales auspiciosos, por ello el agradecimiento a las autoridades de la carrera mencionada en alentarnos a llevar adelante esta propuesta con esta metodología.

En principio, los estudiantes se “sienten” desorientados, debido a la metodología como un todo y a las dificultades de comunicar este tipo de innovaciones (aprehendidas en la praxis) que rompen las tradiciones establecidas en el ámbito educativo. Esto, empero, no dificultó los avances, particularmente por la predisposición de los estudiantes, por la incorporación de redefiniciones adecuadas a las necesidades demandadas y por el afianzamiento logrado a través de las clases.

Dentro de los puntos positivos destacables encontramos, en primer lugar, que los estudiantes hayan podido apropiarse de un modo de pensar y hacer matemáticas, trabajando problemas abiertos en la conformación de “comunidad” que puede investigar, plantear hipótesis, crear y usar conceptos, disponer de un manejo adecuado de las herramientas, formular metodologías de abordaje y aplicar este conjunto de “acciones” a una la totalidad compleja trascendente a la matemática para buscar respuestas mediante modelos matemáticos y contrastar los resultados obtenidos frente a los datos empíricos (en caso de disponerse). Este modo de pensar y hacer matemáticas lo consideramos muy relevante en particular para aquellos quienes no se dedicarán disciplinariamente a las matemáticas pero que, en algunas oportunidades, potencialmente, su trabajo les demandará entender aspectos matemáticos del objeto de trabajo. La experiencia de los trabajos grupales en las presentaciones de los proyectos frente a la comunidad de la institución la valoramos muy enriquecedora.

Otro aspecto positivo es la posibilidad de “debatir” acerca de la creación y los “usos” de las matemáticas, tanto como planificar el dictado de la materia desde esta perspectiva (sistémica y compleja), traduciendo y/o replicando en parte estos debates en el aula. Esto, entendemos, no puede llevarse a cabo sin la existencia de miradas múltiples, tal como sostenemos en la introducción de este trabajo: el conocimiento disciplinar no se encuentra aislado, ni mucho menos estructurado por disciplinas fragmentadas vistas exclusivamente por los especialistas de tales disciplinas. Esta perspectiva no deteriora la condición de especialista, sino que la extiende hacia las formas interdisciplinarias, favoreciendo y fortaleciendo su impacto en el proceso, también complejo, de enseñanza-aprendizaje.

REFERENCIAS

- Bürguer, R. (2009). Introducción al Modelamiento en Biomatemática. Curso 525380, www.ing-mat.udec.cl/~rburger/papers/biomatematicamanu2012.pdf (23/08/2017).
- Duval, R. (1993). Registres de représentations sémiotiques et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Edelstein-Keshet, L. (2005). *Mathematical Models in Biology*. Philadelphia: SIAM.
- Fourez, G. (2005). *Alfabetización científica y tecnológica*. Buenos Aires: Ediciones COLIHUE.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona: GEDISA.
- García, R. (2007). *Sistemas Complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: GEDISA.
- Godino, J. D. (2009). Categorías de análisis de los conocimientos del profesor de matemáticas. *UNIÓN, Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 20, 13-31.
- Graieb, A., Baragatti, E., Andrini, L. (2012). Fundamentación didáctico-epistemológica del dictado del curso Tópicos de Matemática para la ingeniería en agrobiotecnología. III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, UNLP. <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/iii-2012>
- Gualano, L., Graieb, A., Baragatti, E., Andrini, L. (2017). *Matemáticas y crecimiento bacteriano: un trabajo de laboratorio para el aprendizaje significativo*. Iras Jornadas sobre Enseñanza y Aprendizaje en el Nivel Superior en Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.
- López-Gay, R. y Martínez Torregrosa, J. (2005). *¿Qué hacen y qué entienden los estudiantes y profesores de Física cuando usan expresiones diferenciales?* *Enseñanza de las Ciencias*, 23, 321-334.
- Moraes, M. C. (2008). *O paradigma educacional emergente: implicações na formação do professor e nas práticas pedagógicas*. Em Aberto, 16(70), 57-69.
- Morín, E. (2008). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Barcelona: GEDISA.
- Murray, J.D. (2002). *Mathematical Biology. I: An Introduction*. New York: Springer-Verlag.
- Murray, J.D. (2003). *Mathematical Biology. II: Spatial Models and Biomedical Applications*. New York: Springer-Verlag.
- Peralta Coronado, J (2001). *Acerca de una defectuosa educación matemática*. *Tendencias pedagógicas*, 6, 163-174.



Varsavsky, O. (1972). *Hacia una política científica nacional*. Buenos Aires: Ediciones Periferia.