

PROGRAMAS TRANSVERSALES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS: EXPECTATIVAS, LIMITACIONES Y RESULTADOS

Joaquín Borrego Díaz
Dpto. de Ciencias de la Computación e
Inteligencia Artificial
Universidad de Sevilla

RESUMEN

Existe la necesidad de confeccionar programas de adaptación curricular dirigidos a graduados que desean continuar sus estudios e investigar en áreas de conocimiento con vocación multidisciplinar, como es el caso de las Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (CCIA). Esta necesidad se debe, en gran parte, a los diferentes itinerarios curriculares que confluyen en los estudios de tercer ciclo impartidos por el Departamento de CCIA de la Universidad de Sevilla. En este artículo reflexionamos sobre los resultados de la actividad de innovación que hemos desarrollado, conducente a la elaboración de un programa para uno de estos cursos. Dicho curso tiene como objetivo fundamental solventar el déficit lógico-matemático de los alumnos procedentes de la Ingeniería Informática así como las carencias en lógica aplicada a la programación de los alumnos que provienen de la licenciatura en Matemáticas. La característica fundamental del proyecto es que necesitaba la participación destacada de alumnos en la confección del programa del curso.

ABSTRACT

It is necessary to make programs of curricula adaptation directed to graduate students which want to study -and to research- in multidisciplinary knowledge fields, as Computer Science and Artificial Intelligence. This is due to the very different curricula itinerary of these students in University of Sevilla. Specifically, in this article we describe the activity related to make one of these programs, that attempts to solve the deficit in logic of Informatics Engineering graduates and the deficit in programming applied logic of Mathematics graduates.

INTRODUCCIÓN

Al ser el área de CCIA relativamente nueva, su desarrollo se ha beneficiado de las restantes disciplinas. Y no sólo del conocimiento que éstas pueden aportar. Las áreas de conocimiento bien asentadas proporcionan, además, unos métodos de trabajo que se pueden -y se deben- adaptar a CCIA. Concretamente, existen tres paradigmas básicos bajo los cuales se debe desarrollar la actividad investigadora -y docente- en CCIA, y que deben ser contemplados en los currículum de Ingeniería Informática (Denning y otros, 1989):

- *Teoría.* Es de origen matemático. El desarrollo clásico consiste en caracterizar los objetos que se desean estudiar, emitir hipótesis sobre éstos, demostrar las verdaderas, e interpretar los resultados obtenidos.
- *Abstracción.* Es básicamente, el método científico: conjetura de hipótesis y construcción del modelo. Se hacen predicciones sobre éste, que deben ser puestas a prueba e experimentos, cuyos resultados deben ser analizados.
- *Diseño.* Es la Ingeniería. Los pasos que se siguen son: estudio de los estados del problema, obteniendo su especificación. A continuación, se diseña e implementa el sistema; que posteriormente debe ser verificado.

Con respecto a los estudios de Informática, es difícil articular estos paradigmas en un currículum, por diversos motivos. El fundamental, su breve vida como ciencia. Desde la perspectiva histórica, las restantes ciencias nos muestran la necesidad de un periodo de tiempo relativamente amplio para que parte de los investigadores dediquen su labor a establecer un corpus consistente de los resultados obtenidos, y se reflexione sobre la metodología de trabajo. Podemos afirmar que, en la actualidad, ya existen trabajos al respecto en CCIA, pero su influencia en el campo de la docencia universitaria es necesariamente lenta. En el caso que nos ocupa, se plantea la dificultad añadida de la división histórica existente entre los distintos métodos de investigación antes reseñados. Una de sus consecuencias es la crónica *deficiencia matemática* de los alumnos de Informática, aunque a la causa antes citada debemos añadir otras derivadas de diversos aspectos metodológicos y de las instituciones educativas (Crowthe y otros, 1997).

Con respecto a los estudios de Matemáticas, la situación es bien diferente. La posibilidad de confeccionar nuevos itinerarios curriculares dentro de la Licenciatura choca frontalmente con unos estudios plenamente asentados y que se atienen a las áreas clásicas en Matemáticas. Pero está claro que, el desarrollo tecnológico por un lado, y la necesidad de abrir la posibilidad de nuevos tipos de empleo para el futuro licenciado, por otro, impulsa a reflexionar acerca de este problema. Concretamente, se plantean tres cuestiones fundamentales (ICMI, 1997)

- ¿Qué cambios deben tener lugar en el currículum de Matemáticas?
- ¿Cómo se deben de hacer los cambios?
- ¿Existen nuevas áreas que deben de tener su lugar en el currículum?
- ¿Algunas de las áreas del currículum actual? Han perdido algo de importancia con relación a las restantes?

En el caso de CCIA, la extraordinaria importancia e influencia de las computadoras justifica su inclusión, con las necesarias limitaciones, en el currículum en Matemáticas. De hecho la influencia de CCIA llega a gran parte de las materias clásicas del currículum (Stern, 1986) Por tanto, deberíamos de añadir una nueva cuestión, a las anteriormente planteadas: ¿Hasta qué niveles debe llegar el cambio en los currículum de Matemáticas?

A los problemas planteados son especialmente sensibles las áreas de conocimiento con clara vocación multidisciplinar, como CCIA. Sin embargo, es posible conjugar en cursos de

postgrado las diversas actitudes, eligiendo adecuadamente los temas. Uno de éstos es objeto de la actividad que hemos realizado: confeccionar un curso de adaptación curricular sobre verificación formal de programas, con la participación de alumnos de último año de estudios superiores, que serían los futuros receptores del curso, y de licenciados interesados en el tema (alumnos del programa de doctorado del departamento CCIA)

OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN

La actividad de innovación tenía como objetivo la elaboración de un programa docente transversal, que nivele el conocimiento científico de los distintos itinerarios curriculares de los alumnos interesados en estudiar -e investigar- en el área de CCIA en un tópico concreto. Las características principales de la actividad son:

- Colaboración de alumnos de distintas licenciaturas y de tercer ciclo en la elaboración del programa.
- Debido a la limitación temporal del proyecto, sólo se desarrollaría el programa de un curso introductorio sobre *verificación formal de programas*. El objetivo perseguido con su elaboración es poner de manifiesto la relación existente entre la Lógica Matemática y la Metodología de la Programación. Concretamente, se trata de demostrar que la Lógica Matemática fundamenta, en cierta medida, la práctica habitual de programar, proporcionando a su vez unos útiles de referencia científica para ésta.
- El curso está-diseñado para licenciados, pero, en principio, podría ser apto para estudiantes del último curso de los citados estudios superiores.

La segunda característica, el objetivo puramente académico, responde a la necesidad de complementar las diferentes nociones de *cómputo* adoptadas tanto en Matemáticas como en Informática, y es considerado como una aplicación básica de la lógica en CCIA (Stern, 1986).

Este proyecto se enmarca dentro de las actividades de docencia del área de CCIA. Concretamente, dentro de las actividades de formación complementaria de los estudiantes (mediante la confección práctica de cursos que versan sobre materias que, posiblemente, serán la base de sus futuras actividades de investigación), orientada en este caso a la adaptación curricular del alumnado de tercer ciclo.

CONTEXTO

Con la introducción de los nuevos planes de estudio, el departamento de CCIA tiene asignada una docencia heterogénea que afecta a alumnos con estudios muy diferentes, en cuanto a su orientación curricular. Esta situación plantea ciertas limitaciones que determinan la actividad docente, investigadora y de formación del futuro personal docente y/o investigador en dicho campo.

Las líneas de investigación que se desarrolla en el Dpto. de CCIA tienen como común denominador la utilización de métodos formales propios de la Lógica Matemática para resolver cuestiones sobre Computación y sobre Inteligencia Artificial. Esta orientación plantea el siguiente problema: el currículum actual del alumno no se adapta para desarrollar una futura

actividad investigadora en estos campos. Incluso no permite una asimilación por parte del alumno de los conocimientos que podríamos denominar *fundamentales*: el alumno de Informática carece del fundamento lógico-matemático necesario y el de Matemáticas de los conocimientos tecnológicos. Debido a la excepcionalidad de la situación, no existe un material que presente, de manera unificada y a nivel de licenciatura, algunos tópicos importantes. Es necesario, pues, elaborar algún tipo de material docente que nos permita adaptar los conocimientos de cada tipo de alumno, y que sea susceptible de ser impartido en cursos post-licenciatura.

Existen, en principio, otras posibles soluciones. Una sería resolver esta disparidad en tercer ciclo. De hecho, es la solución más directa. Por otro lado también se puede, metodológicamente hablando, seguir en las asignaturas un enfoque adecuado para paliar, en cierta medida, esta disfunción (Balbontín y otros, 1996; Borrego, 1995; Segal, 1998). Este acercamiento es defendido en la elaboración del currículum en CCIA (Alonso y otros, 1991; Denning y otros, 1989; Stern, 1986; Shaw, M. 1985). Estas dos soluciones, que se complementan, son claramente insuficientes en nuestro caso: por problemas de temporalidad, no es posible que un programa de doctorado acumule cursos de este tipo, y los cursos de licenciatura tienen otros objetivos prioritarios que no permiten incidir en temas que, en la mayoría de los casos, son complementarios a su contenido.

La solución que se ha adoptado es la de confeccionar un programa de formación complementaria de postgrado que recoge y revisa diversos temas de interés específico, con vistas a preparar el ingreso en tercer ciclo (*Programa de formación complementaria en CCIA. Universidad de Sevilla*, <http://www-cs.us.es/docencia>). Una vez adoptada esta solución, el problema que hemos planteado se reduce a reflexionar sobre el contenido de esta formación complementaria. En el caso que nos ocupa, sobre a reflexionar sobre el contenido de el curso (o los cursos) que versen sobre fundamentos de la verificación de programas.

METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se ha dividido básicamente, en dos actividades complementarias:

- Actividades realizadas en un taller (de dos horas semanales, fuera del horario de las clases regladas), donde el profesor propone tareas y cuestiones, y donde se intercambia la información, trabajos, experimentos, etc. acerca del tema
- Trabajo personal de los participantes: manejo y lectura dirigida de diverso material (libros, artículos, trabajos técnicos, etc.) que, en su conjunto, engloba el contenido de curso.

El trabajo debe concluir con la elaboración individual de un programa de la asignatura por parte de los alumnos participantes, y discusión de las directrices que se deben seguir en cada uno de los temas que componen el programa.

Los participantes en el proyecto se han elegido entre las dos licenciaturas aludidas y en el programa de doctorado. Concretamente, se eligió un alumno de cada tipo de estudios, con interés en investigar con nosotros, y que han destacado en las asignaturas que imparte el área:

de CCIA. Sin duda, esta elección ha facilitado el trabajo del grupo, pues la implicación de los alumnos-colaboradores ha sido plena.

En cuanto a la metodología que hemos seguido en la dirección del trabajo del grupo, si bien es cierto que la formalización de las técnicas y herramientas utilizadas era fundamental, también es cierto que un punto de partida basado en la *abstracción* supone, como ya hemos comentado, un handicap adicional para el alumno de las Ingenierías. Por tanto, hemos adoptado una orientación *historicista*: planteamos el problema, y en varios grados de abstracción, formalizamos cada uno de los elementos que lo integran. Recordemos que esta orientación refleja la dinámica formalista que ha caracterizado el desarrollo de las ciencias. El ejemplo más claro es el de las Matemáticas, donde es habitual que a una etapa de fértil desarrollo de un nuevo tema de investigación le siga otra en la que cierta parte de los investigadores se dedican a reflexionar sobre los nuevos resultados. Estos se recopilan, y mediante una abstracción de su contenido, se obtiene un corpus consistente -una nueva teoría matemática- que permite seguir avanzando con seguridad (sin paradojas, ambigüedades o errores), e incluso puede ser aplicada a otras áreas de conocimiento. Nuestro caso es sólo un ejemplo en este sentido: la Lógica Matemática aplicada a la Informática. Por tanto, la reflexión conduce a formalizar todos los elementos que integran el problema.

En nuestro caso, los elementos se consideran elementos lógicos (sintaxis y semántica de un lenguaje formal) y se formalizan en dos etapas. En la primera, y con el objetivo de facilitar la adaptación del alumno de Ingeniería, se formaliza el lenguaje de programación. Esta perspectiva lógico-matemática de los lenguajes de programación motiva al alumno de Matemáticas a reflexionar sobre la analogía de este nuevo lenguaje con los matemáticos. Por otro lado, permite al alumno de Informática localizar el problema de la formalización de los conceptos de *validez* y *demostrabilidad*, dos conceptos que parecen inseparables desde el punto de vista del *diseño*. Esto es debido, entre otras razones, a que estos conceptos no se diferencian con claridad en un currículum orientado a la Ingeniería.

Este acercamiento, voluntariamente pretendido por el autor del proyecto de innovación, responde al espíritu matemático del problema de la verificación de sistemas (Hoare, 1989):

- Las computadoras son máquinas matemáticas.
- Un lenguaje de programación es una teoría matemática.
- Los programas son expresiones matemáticas.
- La programación es una actividad matemática.

REFLEXIONES SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Desde el punto de vista de la experiencia de innovación, debemos resaltar el hecho de que la diversidad curricular del grupo no ha desembocado en una disparidad importante de criterios temáticos a la hora de abordar la confección del programa del curso, como, en principio, cabía esperar. Esto es debido, en gran parte, a la forma de introducir el tema objeto de estudio, que hemos descrito en la sección anterior.

Básicamente, los temas que componen los programas presentados por los alumnos son los mismos. Es el orden de éstos donde se aprecia claramente la distinta formación de cada uno. Precisemos un poco esta cuestión.

La orientación del programa presentado por el alumno de Matemáticas refleja, en cierta medida, los patrones por los que se han regido las diferentes materias que componen la licenciatura que cursa. En general, podemos afirmar que el programa de un curso de Matemática consiste en el desarrollo de una teoría matemática concreta. En unos primeros capítulos se introducen los objetos que se desean estudiar, junto con sus propiedades básicas. En los restantes se avanza en el conocimiento de éstos. Una de las ventajas de desarrollar una teoría es que se facilita el manejo de grandes cantidades de información usando símbolos muy concisos, que nos permiten establecer nuevos resultados (Glaeser, 1972). El programa presentado por el alumno se atiene a este guión, con la excepción -pues era imprescindible- de cuestionarse acerca de la *mecanización* de los procesos de verificación.

La alumna de Informática reproduce en el programa que ha confeccionado su propia *historia curricular*. Ha cursado la licenciatura en Informática según los primeros planes de estudio que se implantaron (actualmente se están renovando). Desde el curso 89-90 se impartieron estudios superiores de Informática, que inicialmente se diseñan como una continuación de la ya existente Diplomatura en Informática. Esta situación condicionaba fuertemente los contenidos de las asignaturas, y en especial, las de cuarto curso. El objetivo de éstas era doble: se deben completar los conocimientos adquiridos en primer ciclo, fundamentando la colección de habilidades y técnicas propias de unos estudios de grado medio, y se debe avanzar en el contenido (parte de la metodología que adoptamos los profesores al respecto responde a este criterio. En (Balbontín y otros, 1997) describimos nuestra solución para la asignatura de Algorítmica). Así, en su programa, presenta el problema y sus soluciones antes de fundamentar cada uno de los elementos. Esta es la forma más natural para la alumna, pues refleja su propia experiencia (por otro lado, ya hemos comentado que ésta era la orientación que habíamos adoptado a la hora de dirigir el trabajo del grupo).

El resultado de esta actividad, desde el punto de vista del alumno, se puede resumir en lo siguiente: es posible formalizar la ciencia de la programación a partir de la Ingeniería, y es posible aplicar conocimientos lógico-matemáticos a otras ramas del saber, como por ejemplo la Informática. Además, si una vez fundamentada la praxis, se relaja la formalización, se obtiene de manera natural una metodología de trabajo muy útil para desarrollar sistemas correctos (de MARNEFE, 1995).

Las consideraciones científicas acerca del tema objeto de estudio, se han recogido en (Borrego y otros, 1998)

LIMITACIONES

Es necesario destacar que una actividad complementaria de este tipo, no desarrollada en el aula y fuera del programa de una asignatura oficial, tiene fuertes limitaciones. Algunas son difícilmente resolubles, como, por ejemplo, el tiempo de dedicación a la actividad de los alumnos, condicionados por el estudio de las asignaturas regladas (especialmente grave en

épocas de evaluación). Otra dificultad es la fuerte carga docente que soportan los profesores del Departamento de CCIA. Es decir, la realización de actividades curriculares complementarias de este tipo en el seno de la Universidad está limitada por el imprescindible quehacer profesional de profesores y estudiantes. Sin embargo, creemos que la implantación de los nuevos planes de estudio pueden solventar, al menos parcialmente, algunos de los problemas que hemos aludido.

CONCLUSIONES

La experiencia docente nos muestra que la confección de cursos con las características del que ha sido objeto la actividad de innovación son necesarios, por tratarse en éstos diversos temas que complementan -de manera sustancial, en algunos casos- los estudios del alumno. Preparar sus programas en base a las opiniones y sugerencias de los futuros destinatarios del mismo representa, al menos, una buena forma de no obviar tópicos desconocidos para el futuro receptor de éstos.

Enriquecer la perspectiva de sus propios estudios es, quizás, lo más importante que obtienen los alumnos que intervienen en la actividad. El alumno de Matemáticas se convence del carácter universal de la formalización matemática, pero también percibe que la formalización no tiene, en absoluto, un carácter general (Borrego y otros, 1998). Y el alumno de Informática relativiza la importancia de las meras habilidades frente a la seguridad de una formalización, que fundamenta su actividad como ciencia. Creemos que relativizar la importancia de la propia especialización con respecto a otras bien distintas es, sin duda, beneficioso.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, F. y otros (1991): Consideraciones para el diseño de un currículum en Ingeniería Informática. en Sáez F. y González, J. c. (eds.) *Actas de las Jornadas sobre formación en informática superior para los noventa*. Madrid, Servicio de publicaciones de la E.T.S.I. Telecomunicación de la UPM.
- BALBONTÍN, D. y otros (1997). Fundamentos de Algorítmica: algunas cuestiones metodológicas en ICE de la UPM, ed. *II Jornadas nacionales de innovación en la enseñanza de las Ingenierías*. Madrid, ed. del ICE de la Universidad Politécnica de Madrid.
- BORREGO, J. (1995). Algoritmos y computabilidad en Nepomuceno, A. (ed.) *Lógica formal: orígenes, métodos y aplicaciones*. Sevilla, Kronos.
- BORREGO, J. y otros (1998). Matemáticas para la verificación de programas. Aparecer en *Actas de las II Jornadas sobre enseñanza universitaria de la Informática (JENUI'98)*. Andorra.
- CROWTHER, K y otros (1997). Engineering degree students are deficient in mathematical expertise-why? *International Journal of Mathematical Education, Science and Technology* 28, 6, 785-792
- DENNING, P.J. y otros (1989) Computing as discipline. *Communications of ACM* 32 (1), 9-23. ACM Press.

- GLAESER, G. (1972). La transmission des connaissances mathématiques hier, aujourd'hui demain. *L'Enseignement Mathématique* XVIII (II sÈrie) 277-288.
- DE MARNEFE, P.A. (1995) Une mÈthode semi-formelle pour expliquer les algorithmes. *Technique et Science Informatique* 14 (10) 1323-1331.
- SEGAL, J. (1998). Learners' difficulties with induction proofs. *International Journal of Mathematical Education, Science and Technology* 29, 2, 159-177. Londres. Taylor and Francis Ltd.
- STERN, J. (1986). On the mathematical basis of Computer Science, en Churchhouse, R.F. et otros (eds.) *The influence of computers and Informatics on Mathematics and its teaching* Cambridge, Cambridge University Press.
- ICMI (1997). ICMI study on the teaching and learning of mathematics at university level. *L'Enseignement Mathématique*, XLVIII (II sÈrie), 381-390.
- SHAW, M. (ed.) (1985). *The Carnegie-Mellon curriculum for undergraduate computer science* Londres. Springer Verlag.