



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

INTEGRACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DEL ACM/IEEE-CS EN LOS CURSOS DE ARQUITECTURA Y ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORES

Juan Carlos Martínez Santos

Universidad Tecnológica de Bolívar
Cartagena, Colombia

Resumen

El curso de arquitectura y organización de computadores puede enfocarse desde dos perspectivas complementarias: el hardware y el software. En Colombia, y como caso particular en la Universidad Tecnológica de Bolívar, el curso de Arquitectura y Organización de Computadores tiene dos líneas diferentes para los programas de Ing. de Sistemas y de Ing. Electrónica. Esto conlleva a dos cursos con dos núcleos diferentes y casi complementarios, los cuales los dejan en desventaja frente a los estándares requeridos en el ámbito internacional.

En este artículo se presenta el proceso llevado a cabo al interior de la Facultad de Ingenierías y de los programas de Ing. de Sistemas y Ing. Electrónica de la Universidad Tecnológica de Bolívar respecto a la integración de los contenidos según las recomendaciones del grupo de trabajo ACM/IEEE-CS (Sahami, *et al.*, 2013) sin perder las características diferenciadoras de cada programa. La experiencia inicial nos indica que el proceso es menos traumático en el curso para ingenieros Electrónicos, pues las bases en sistemas digitales hace más fácil la apropiación de los conceptos del hardware y sus implicaciones. Sin embargo por su inclinación hacia los detalles del diseño se hace necesario la inclusión de varias temáticas que vinculen otros aspectos como el sistema operativo y su interacción con el compilador. Por otro lado, el curso en Ing. de Sistemas requiere de más trabajo en las bases teóricas y prácticas de los circuitos y sistemas digitales debido a la ausencia de un curso que cubra estos contenidos. La adición de estos aspectos, al igual que la inclusión de temas como los lenguajes de descripción de hardware y lógica programable han propiciado los cambios más fuertes en el currículo de Ingeniería de Sistemas.

Los resultados preliminares, han mostrado que los estudiantes en ambos programas son receptivos a los cambios, pero no ha sido fácil cambiar el paradigma y lograr que los estudiantes de sistemas interactúen exitosamente con dispositivos electrónicos así como que los estudiante de electrónica se apersonen de los detalles de la programación a bajo nivel y la interacción del hardware con el sistema operativo.

Palabras clave: arquitectura de computadores; organización de computadores; currículo

Abstract

Architecture and Organization Computer course can be viewed from two complementary points of view: hardware and software. In Colombia, in particular the Universidad Tecnológica de Bolívar, the architecture and organization course has two different sides, one for the Computer Science program and other for Electrical and Computer Engineering program. Both courses have different core topics, which are a disadvantage when we compare with international standards.

In this paper, we show the process developed inside of the School of Engineering and both Electrical and Computer Engineering and Computer Science programs to integrate the ACM/IEEE-CS joint task force curricula recommendation into the current curricula without losing the key points of each program. Preliminary results show that the process is less invasive for Electrical and Computer courses, because background courses like Digital System Design makes easier the adoption of hardware concepts and their implications. However, because of the strong hardware design component, there is necessary to include aspects related with the operating system as well as the compiler. On the other hand, Computer Engineering courses require more attention on the theory basis about the digital logic and digital systems due to the lack a previous course that cover these contents. In addition to, the inclusion of hardware description languages and programmable logic devices are the more notorious changes in the curricula.

Results also show that students from both programs are willing to accept the changes. However, changing the paradigm and getting Computer Engineering students interact with electronic devices or Electrical and Computer student understanding the implications of the operating system have not been easy.

Keywords: *computer architecture; organization computer; curricula*

1. Introducción

En Colombia existen dos programas de ingeniería, Electrónica y Sistemas, los cuales pueden ser equivalentes a los programas de Computer Engineering y Computer Science del ACM (*Association for Computing Machinery*). Sin embargo, a diferencia de ellos los cuales comparten el mismo núcleo y se especializan en el hardware y en software, en nuestro entorno sus equivalentes no lo son. En vez de seguir un núcleo común, los programas de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería de Sistemas ven sus contenidos en cursos completamente aislados y algunas veces completamente opuestos. Un ejemplo de dicha discordancia es el curso de Arquitectura de Computadores. El cual es requisito para ambos programas, pero con temáticas distanciadas.

En el caso de ingeniería electrónica, el curso de arquitectura de computadores cubre los aspectos de la organización y arquitectura del computador tocando tangencialmente el lenguaje ensamblador, dejando por fuera todo lo referente al compilador y el sistema operativo. Por el lado del compilador se pierde la oportunidad de integrar aspectos de las etapas del compilador (*front-end, middle-end, back-end*) con la arquitectura del procesador en busca de la generación de un lenguaje ensamblador que permita una ejecución más óptima. De igual forma, cuando se deja por fuera el sistema operativo, se deja por fuera el concepto de multiprocesamiento y sus implicaciones en la administración de los recursos del sistema.

Con respecto a la Ingeniería de Sistemas, la situación no es más alentadora. Inclusive cubriendo los aspectos de la teoría de la computación, los lenguajes de programación y del sistema operativo, el hardware

no deja de ser un recurso más donde los detalles son transparentes para el programador. Aspectos como el mecanismo de predicción de saltos o el mecanismo de reemplazo de una línea en la memoria cache quedan al aire por ser muy técnicos. Limitando el desarrollo de aplicaciones como simuladores, compiladores (*back-ends*), *drivers*, y además de otros servicios del sistema operativo.

En este artículo se presenta una propuesta para la integración de las recomendaciones del ACM/IEEE-CS (Sahami, *et al.*, 2013) en los cursos de Arquitectura y Organización de Computadoras de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería de Sistemas, de manera que permita a estudiantes de ambos programas ser competitivos desde sus áreas y su articulación con los estándares internacionales.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. Sección 2 recopila la recomendación del ACM/IEEE-CS para el curso Arquitectura de Computadoras. Sección 3 y 4 presentan las modificaciones necesarias a los actuales programas de Ingeniería Electrónica y de Sistemas respectivamente. Sección 5 muestra los resultados del proceso de adaptación. Por último, Sección 6 presenta las conclusiones de este proceso.

2. Recomendaciones del ACM/IEEE-CS

Los profesionales de la informática no deben considerar el computador como una caja negra que ejecuta programas por arte de magia. La arquitectura y organización se establece desde la infraestructura hardware/software del sistema de cómputo para comprender el entorno físico sobre el cual se basa todo sistema de cómputo, y la interfaz que proporciona a las capas superiores de software. Los estudiantes deben adquirir una comprensión y apreciación de los componentes de un sistema informático, sus características funcionales, de rendimiento y las interacciones, y, en particular, el desafío de aprovechar el paralelismo para sostener mejoras en el rendimiento, ahora y en el futuro. Los estudiantes necesitan entender la arquitectura de computadores para desarrollar programas que permitan lograr un alto rendimiento a través de la conciencia de un programador del paralelismo y la latencia. En la selección de un sistema para utilizar, los estudiantes deben de poder entender el equilibrio entre los diversos componentes, tales como la velocidad del reloj de la CPU, ciclos por instrucción, tamaño de la memoria, y el tiempo medio de acceso de memoria. Tabla 1 muestra los contenidos organizados por núcleos. Núcleo 1 son temas requeridos en el currículo de cualquier estudiante de *Computer Science*. Núcleo 2 son temas que se recomiendan cubrir entre un 90-100% su totalidad, con un mínimo de 80%. Los temas electivos como su nombre lo indica, pueden tratarse en el pregrado y dejar la profundización para cursos de postgrado.

	Núcleo 1	Núcleo 2	Electivo
Lógica digital y Sistemas digitales		3h	No
Representación de datos a nivel de maquina		3h	No
Organización a nivel de ensamblador		6h	No
Organización de sistemas de memoria		3h	No
Interfaces de comunicación		1h	No
Organización funcional			Si
Multiprocesamiento y arquitecturas alternativas			Si
Mejoras de desempeño			Si

Tabla 1. Lista de temas y su intensidad horaria. Las "horas" corresponden al tiempo requerido para presentar el material en forma tradicional. No incluye auto-estudio, laboratorios, trabajo individual, etc.

Los resultados del aprendizaje especificados para estos temas corresponden principalmente al núcleo y están destinados a apoyar programas que requieran sólo el mínimo de 16 horas curriculares de arquitectura de computadores. Para los programas que requieren más horas del mínimo, los mismos temas (Tabla 1) pueden ser tratados en un nivel más avanzado mediante la aplicación de una secuencia de dos cursos. Para los programas que quieren cubrir los temas electivos, esos temas se pueden introducir dentro de una secuencia de dos cursos y / o ser tratados de una manera más integral en un tercer curso.

3. Adaptaciones al programa de Ingeniería Electrónica

En el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Bolívar, los temas de Arquitectura y Organización de Computadores se enmarcan en los cursos de Sistemas Digitales y Microprocesadores. Sin embargo, no toda la temática se venía cubriendo adecuadamente. Tabla 2 muestra como los contenidos se dividen entre los cursos.

	Antiguo Programa (Plan de Estudios IE, 2012)		Nuevo Programa (Plan de Estudios IE, 2013)	
	Sistemas Digitales	Micro procesadores	Sistemas Digitales	Micro procesadores
Lógica digital y Sistemas digitales	X	-	X	-
Representación de datos a nivel de maquina	X	X	X	-
Organización a nivel de ensamblador	-	X	-	X
Organización de sistemas de memoria	-	X	-	X
Interfaces de comunicación	-	-	-	X
Organización funcional	-	X	-	X
Multiprocesamiento y arquitecturas alternativas	-	-	-	X
Mejoras de desempeño	-	-	-	X

Tabla 2. Distribución de los temas de Arquitectura y Organización de Computadores entre los cursos de Sistemas Digitales y Micro procesadores antes y después de las recomendaciones del ACM/IEEE-CS en el programa de Ingeniería Electrónica.

Tabla 2 muestra, los contenidos generales en el programa de Ingeniería Electrónica se venían cumpliendo globalmente. Sin embargo, los contenidos propios de cada tema no se cumplían en su totalidad. Por ejemplo, a nivel de organización de sistemas de memoria, temas como memoria cache y memoria virtual no se incluían. Por otro lado, todo lo referente a arquitecturas paralelas (memoria compartida, múltiples núcleos y múltiples procesadores, etc.) eran omitidos. Adicionalmente, en otros casos, los temas se presentaban desligados de otras áreas del conocimiento como el sistema operativo y el compilador.

Para darle cabida a las recomendaciones del ACM/IEEE-CS (Sahami, *et al.*, 2013), fue necesario replantear los contenidos y la forma de impartirlos en los cursos de Sistemas Digitales y Microprocesadores. Uno de los cambios consistió en dejar exclusivamente los conceptos de lenguajes de descripción de hardware al igual que los dispositivos lógicos programables en el curso de Sistemas Digitales. De igual forma, todo lo referente a representación de datos a nivel de máquina, donde se incluyeron los formatos de punto flotante. De esta forma, el curso de Microprocesadores se enfoca desde un principio a la organización al nivel de máquina y lenguaje ensamblador. Esto nos permitió incluir los temas faltantes de multiprocesamiento y arquitecturas paralelas, así como los temas de desempeño (Brown, *et al.*, 2013). Estas nuevas temáticas se presentan ahora desde el punto de vista del sistema operativo y sus implicaciones en los compiladores como parte del sistema de cómputo.

4. Adaptaciones al programa de Ingeniería de Sistemas

En el programa de Ingeniería de Sistema de la Universidad Tecnológica de Bolívar, los temas de Arquitectura y Organización de Computadores se enmarcan principalmente en los cursos de Programación I, Teoría de la Computación, Sistemas Operativos y el curso de Arquitectura y Ensamblador. Tabla 3 muestra la distribución de los contenidos.

	Antiguo Programa (Plan de Estudios IS, 2012)		Nuevo Programa (Plan de Estudios IS, 2013)	
	Otros cursos	Arquitectura y Ensamblador	Otros cursos	Arquitectura y Ensamblador
Lógica digital y Sistemas digitales	-	-	-	X
Representación de datos a nivel de maquina	X	-	X	-
Organización a nivel de ensamblador	-	X	-	X
Organización de sistemas de memoria	-	-	-	X
Interfaces de comunicación	X	-	X	-
Organización funcional	-	-	-	X
Multiprocesamiento y arquitecturas alternativas	X	-	X	X
Mejoras de desempeño	-	-	-	X

Tabla 3. Distribución de los temas de Arquitectura y Organización de Computadores entre los cursos de Algoritmos y Arquitectura y Ensamblador antes y después de las recomendaciones del ACM/IEEE-CS en el programa de Ingeniería de Sistemas.

Como se aprecia en la Tabla 3, varios de los contenidos generales de Arquitectura y Organización de Computadores no se tocan en el programa de Ingeniería de Sistemas. Temas como lógica digital y sistemas digitales se han incorporado en el programa de Arquitectura y Ensamblador a través de los lenguajes de descripción de hardware y los dispositivos lógicos programables. Gracias a la naturaleza de estas herramientas, su inclusión has sido muy tranquila, sin grandes sobresaltos. Sin embargo, la concepción de programar pensando en hardware aun es un paradigma a conquistar.

Similar que el curso de Microprocesadores (para ingenieros Electrónicos), el curso de Arquitectura y Ensambladores, requirió de un rediseño para la incorporación de nuevos temas. De igual forma, se requirió la contextualización de otros, como son las interfaces de comunicación y las arquitecturas paralelas, desde el punto de vista del hardware (Brown, *et al.*, 2013). De esta forma, se dejan las bases sentadas para pensar en técnicas para la mejora del desempeño desde una visión integral de la arquitectura, el compilador y el sistema operativo.

5. Resultados

Resultados preliminares, muestran que los estudiantes en ambos programas son receptivos a los cambios. Sin embargo, no ha sido fácil cambiar el paradigma y lograr que los estudiantes de sistemas interactúen exitosamente con dispositivos electrónicos así como que los estudiante de electrónica se apersonen de los detalles de la programación a bajo nivel y la interacción del hardware con el sistema operativo.

Para la evaluación final sobre los efectos de los cambios se debe considerar el desempeño de los estudiantes en los siguientes cursos de la carrera así como en otros ámbitos de su quehacer. Esta tarea aún

está en desarrollo. Actualmente, es el primer semestre en el cual se incorporan las recomendaciones a los planes de curso. En todo caso, la idea principal es preparar a los estudiantes para la inclusión de nuevos aspectos en esta área de la computación: interfaces de entrada y salida, organización funcional buscando paralelismo, multi-procesado y arquitecturas alternativas teniendo en mente mejorar el desempeño del sistema de cómputo.

6. Conclusiones

En Colombia, y como caso particular en la Universidad Tecnológica de Bolívar, el curso de Arquitectura y Organización de Computadores tiene dos líneas diferentes para los programas de Ing. de Sistemas y de Ing. Electrónica. Esto conlleva a dos cursos (Arquitectura & Ensambladores y Microprocesadores) con dos núcleos diferentes y casi complementarios, los cuales los dejan en desventaja frente a los estándares requeridos en el ámbito internacional.

La experiencia inicial nos indica que el proceso de adaptación de los contenidos es menos traumático en el curso para ingenieros Electrónicos, pues las bases en sistemas digitales hace más fácil la apropiación de los conceptos del hardware y sus implicaciones. Sin embargo por su inclinación hacia los detalles del diseño se hace necesario la inclusión de varias temáticas que vinculen otros aspectos como el sistema operativo y su interacción con el compilador.

Por otro lado, el curso en Ing. de Sistemas requiere de más trabajo en las bases teóricas y prácticas de los circuitos y sistemas digitales debido a la ausencia de un curso que cubra estos contenidos. La adición de estos aspectos, al igual que la inclusión de temas como los lenguajes de descripción de hardware y lógica programable han propiciado los cambios más fuertes en el currículo. Sin embargo, todos los cambios le permiten al estudiante tener una visión más clara de la interacción de los componentes del computador, y no solo una visión desde el software.

7. Referencias

- Brown, R. A., Adams, J. C., Bunde, D. P., Mache, J., Shoop, E., Smith, M. A., ... & Wolf, M. (2013, March). Multi-course approaches to curriculum 2013's parallel and distributed computing. In *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 755-755). ACM.
- Sahami, M., Roach, S., Cuadros-Vargas, E., & LeBlanc, R. (2013, March). ACM/IEEE-CS computer science curriculum 2013: reviewing the ironman report. In *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 13-14). ACM.
- Plan de Estudios IS (2012). Programa de Ingeniería de Sistemas, 2012. Facultad de Ingenierías. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Plan de Estudios IS (2012). Programa de Ingeniería de Sistemas, 2013. Facultad de Ingenierías. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Plan de Estudios IE (2012). Programa de Ingeniería Electrónica, 2012. Facultad de Ingenierías. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Plan de Estudios IE (2012). Programa de Ingeniería Electrónica, 2013. Facultad de Ingenierías. Universidad Tecnológica de Bolívar.

Sobre el Autor

- **Juan Carlos Martínez Santos**, Ingeniero Electrónico y Magister en Potencia Eléctrica, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. PhD de *Northeastern University*, Boston, USA. Profesor Asociado, Universidad Tecnológica de Bolívar. jcmartinezs@unitecnologica.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)