

Un recorrido actualizado por la docencia de Sistemas Digitales en el Grado en Ingeniería Informática

Carlos Guerrero, Isaac Lera y Carlos Juiz
Departamento de Matemáticas e Informática
Universitat de les Illes Balears
07122 Palma de Mallorca
{carlos.guerrero,isaac.lera,cjuiz}@uib.es

Resumen

Este artículo presenta un recorrido por la docencia de los contenidos de sistemas digitales en el Grado de Ingeniería en Informática en las universidades españolas pertenecientes a la Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática. Para ello se han analizado las competencias, los contenidos, la planificación y los recursos utilizados para las asignaturas directamente relacionadas con la docencia de este campo de conocimiento. Finalmente se presenta un análisis de los resultados obtenidos, dando una visión global de la situación nacional, y llevando a cabo una agrupación de universidades en función de los contenidos de las asignaturas utilizadas. Estos resultados son de interés para los docentes involucrados en estas asignaturas y para conocer la estandarización de los conocimientos sobre la materia, es decir, si el diseño curricular es o no homogéneo.

Abstract

This article presents a review of the contents related to Digital Systems in the Degree in Computer Engineering in the Spanish universities that belong to the *Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática*. For this, the competences, contents, planning and resources used for the subjects, directly related to the teaching of this field, have been analyzed. Finally, an analysis of the results obtained is presented, giving a global vision, and carrying out a clustering of universities based on the contents of the subjects. These results are of interest to teachers involved in these subjects and to know the standardization of the knowledge area, i.e., whether or not the curricular design is homogeneous.

Palabras clave

Sistemas digitales, revisión sistemática, Grado en Ingeniería Informática.

1. Introducción

Los contenidos de sistemas digitales suelen ser el primer contacto de los estudiantes del Grado de Ingeniería en Informática con el campo de tecnología y organización de los computadores. En general, ofrecen las bases para que conozcan cómo se representa la información y cómo esta se transforma y opera a través del uso de circuitos digitales. Los conocimientos obtenidos establecerán las bases para que, posteriormente, los estudiantes sean capaces de entender la arquitectura básica de un computador.

Si vemos un computador desde un punto de vista de sus niveles de abstracción, los sistemas digitales y la lógica digital estarían situados de forma intermedia entre el nivel que corresponde a los componentes electrónicos analógicos y el nivel de la arquitectura básica de un computador.

Una asignatura que esté relacionada con el bloque temático de los sistemas digitales debería trabajar las competencias necesarias para el análisis y diseño de componentes lógicos digitales, que corresponden a los módulos básicos que forman un computador. En este proceso de análisis y diseño, los alumnos han de ser capaces de evaluar las alternativas disponibles y escoger la mejor para cada caso concreto.

Por tanto, será habitual encontrar este tipo de asignaturas situadas en el primer curso de unos estudios de Grado de Ingeniería en Informática. En los cursos iniciales, además del objetivo docente de adquisición de conocimientos y competencias, las asignaturas han de tener una importante componente motivadora. El abandono de estudiantes en los primeros cursos de las ingenierías es muy elevado, y por tanto, los docentes de las asignaturas de estos primeros cursos han de ser capaces de ir más allá de la presentación de conocimientos básicos, y ayudar al estudiante a ver el tipo de problemas a los que será capaz de enfrentarse una vez acabados los estudios.

En el campo de la investigación científica, es muy habitual encontrar revisiones sistemáticas de áreas par-

ticulares de investigación. Sin embargo, y desde el conocimiento de los autores, la realización de revisiones sobre la docencia universitaria de un bloque de conocimiento o temática no es tan habitual, a pesar de que este tipo de análisis puede ser de gran interés para profesores de las asignaturas de ese campo o para los propios gestores de los títulos.

En este trabajo se presenta un recorrido sobre la docencia de sistemas digitales en el ámbito del Grado de Ingeniería en Informática en las universidades españolas. Para ello, se han analizado los planes de estudios de dichas titulaciones en busca de las asignaturas relacionadas con los sistemas digitales. Una vez detectadas estas asignaturas, se han analizado sus guías docentes en relación a las competencias trabajadas, los contenidos incluidos y los recursos utilizados. Este artículo presenta un resumen resultado del análisis y comparación de dichas guías docentes.

El artículo, en primer lugar presenta los referentes curriculares de los contenidos de sistemas digitales (Sección 2). Posteriormente se presenta la metodología realizada para la selección de las guías docentes a analizar (Sección 3). La segunda parte de esta sección muestra el resultado de la revisión de las guías docentes analizadas. La Sección 4 muestra un análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, se muestran las conclusiones del trabajo y se fijan unas reflexiones más detalladas que sería interesante realizar en este análisis y que se marcan como trabajos futuros.

2. Diseño curricular

Los contenidos relacionados con los sistemas digitales vienen definidos a nivel internacional por el conocimiento como *Computing Curricula* (CC). El CC es un compendio de recomendaciones curriculares cuyo objetivo es proporcionar una visión de los distintos programas de grado en el área de la informática. Este conjunto de documentos están elaborados por el grupo de trabajo formado por la *Association of Computing Machinery* (ACM), la *Association of Information Systems* (AIS) y la *IEEE Computer Society* (IEEE-CS). El CC identifica las especializaciones más relevantes de la informática y define las distintas áreas de conocimiento y su nivel de profundidad para cada una de dichas especializaciones. Desde la primera versión aprobada en el 1991 [7], se han ido actualizando de forma periódica, hasta la última versión aprobada a finales del 2020 (CC2020) [3].

Los informes particulares de las especializaciones en Ingeniería de computadores (CE2016) [4] y en Ciencias de la computación (CS2013) [5] del *Computing Curricula* incluyen contenidos relacionados directamente con los sistemas digitales.

En el caso del CE2016, una de las 12 áreas de conocimiento (KA) que define en su cuerpo de conoci-

CE-DIG-1	History and overview
CE-DIG-2	Relevant tools, standards and/or engineering constraints
CE-DIG-3	Number systems and data encoding
CE-DIG-4	Boolean algebra applications
CE-DIG-5	Basic logic circuits
CE-DIG-6	Modular design of combinational circuits
CE-DIG-7	Modular design of sequential circuits
CE-DIG-8	Control and datapath design
CE-DIG-9	Design with programmable logic
CE-DIG-10	System design constraints
CE-DIG-11	Fault models, testing, and design for testability

Cuadro 1: Unidades de conocimiento del área de conocimiento CE-DIG *Digital Desing* que define el CE2016. (Fuente: [4])

miento (BoK) corresponde al diseño digital (CE-DIG, *Digital Design*). Para esta área de conocimiento define 11 unidades de conocimiento (KU), como podemos observar en el Cuadro 1. Además, el CE2016 desarrolla un conjunto de temas y de resultados de aprendizaje para cada una de estas unidades de conocimiento (KU). Estos temas y resultados de aprendizaje están separados en fundamentales y complementarios. Al área de conocimiento CE-DIG se le asignan un mínimo de 50 horas.

La guía para la especialización en Ciencias de la computación, CS2013, incluye los contenidos relacionados con sistemas digitales como unidades de conocimiento del área de conocimiento de Arquitectura y organización (AR, *Architecture and Organization*). Más concretamente incluye dos unidades de conocimiento, una relacionada con los sistemas lógicos y digitales (*AR/Digital Logic and Digital Systems*) y otra sobre representación de datos (*AR/Machine Level Representation of Data*). Ambas unidades de conocimiento están clasificadas como fundamentales de nivel 2 (*Core Tier2*)¹ y se le asignan un mínimo de 6 horas.

La referencia para la elaboración de planes de estudios de Ingeniería en Informática utilizada en las universidades españolas es el Libro Blanco sobre Ingeniería en Informática. El Libro Blanco surgió del seno de la CODDII (Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática) como una propuesta no vinculante para la definición de los títulos del Grado de Ingeniería en Informática [1]. El Libro Blanco defi-

¹La guía de recomendaciones CS2013 clasifica las unidades de conocimiento fundamentales en dos niveles, *Tier-1* y *Tier-2*, de forma que los planes de estudios deberían incluir el 100% de las unidades de tipo *Tier-1*, y un mínimo del 80% de las *Tier-2*.

ne los contenidos relacionados con sistemas digitales dentro de los Contenidos Formativos Comunes (CFC). Más concretamente, se sitúan en la subcategoría 2.4, *Ingeniería de Computadores*, de la categoría 2 de *Contenidos Específicos de la Ingeniería Informática*. Tal y como indica la descripción de dicha subcategoría, los contenidos de la misma hacen referencia a *Fundamentos, Estructura y Arquitectura de computadores. Tecnología de Computadores*.

3. Revisión de las guías docentes

3.1. Criterios de revisión

Para la revisión de las asignaturas se han establecido una serie de pasos sistemáticos, que consisten en la determinación de los criterios de selección de las asignaturas a analizar y la información a recopilar de las asignaturas seleccionadas.

El primer criterio de selección ha sido limitar el análisis a las universidades y centros que pertenecen a la CODDII. La CODDII engloba a la mayoría de centros y universidades que imparten el Grado de Ingeniería en Informática en España y existe un compromiso entre sus miembros de respetar las directrices del Libro Blanco de Informática [1] y las competencias indicadas en Acuerdo del Consejo de Universidades, por el que se establecieron las recomendaciones para la propuesta por las universidades de memorias de solicitud de títulos oficiales en el ámbito de la Ingeniería Técnica en Informática (Resolución de 8 de junio de 2009 de la Secretaría General de Universidades, BOE núm. 187 de 4 de agosto de 2009).

En aquellas universidades en las que coexisten más de un plan de estudios que conduce a la obtención de Títulos de Ingeniero Técnico en Informática, el análisis se ha limitado a uno de los planes de estudios. En primer lugar se ha optado por analizar el plan de estudios del Grado de Ingeniería en Informática genérico, sin una mención específica. Si solo existían planes de estudios con menciones asociadas, se ha escogido el que correspondía a la mención en Ingeniería de Computadores.

Una vez delimitado el plan de estudios a analizar, era necesario establecer el criterio de selección de la asignatura. Para ello, se han escogido asignaturas entre cuyos contenidos se incluyeran los temas sobre *sistemas combinatoriales y/o sistemas secuenciales*. Esta decisión se ha tomado pues consideramos que el caso de sistemas combinatoriales y secuenciales son el núcleo básico de cualquier asignatura que esté relacionada con el diseño digital y los sistemas digitales.

También se ha recogido y sintetizado la información referente a la planificación de la asignatura (número de créditos, semestre y módulo al que pertenece), las

competencias que trabaja, los contenidos cubiertos y los recursos utilizados. De esta forma, se proporciona una visión global y contextualizada de la asignatura.

En relación a las competencias que trabaja cada asignatura, el estudio se ha centrado en las competencias recogidas en el Acuerdo del Consejo de Universidades de títulos oficiales en el ámbito de la Ingeniería Técnica en Informática, anteriormente citado. Los contenidos se han englobado en temas globales extraídos del análisis de las propias asignaturas, y que por tanto se han establecido durante el propio análisis de las guías docentes. Finalmente, y en relación a los recursos, el análisis se ha centrado en la bibliografía recomendada y las herramientas utilizadas para la realización de las prácticas o como soporte para el aprendizaje. Para el caso de la bibliografía, se han seleccionado únicamente aquellos libros relacionados con sistemas digitales y que además se encuentren en al menos 3 guías docentes de las analizadas.

3.2. Proceso de revisión

La revisión se ha llevado a cabo durante el mes de enero de 2021 utilizando como base las guías docentes publicadas en las webs de cada centro o universidad, tomando como referencia la guía docente correspondiente al curso 2020/21. Inicialmente se partía de un listado de 72 planes de estudios de universidades pertenecientes a la CODDII. Tras aplicar los criterios de selección explicados en la sección anterior, el estudio se ha realizado sobre un total de 58 planes de estudios de otras tantas universidades. En cualquier caso, como las asignaturas analizadas son mayoritariamente de formación básica, las asignaturas seleccionadas se encontraban habitualmente en todas las menciones del título de una misma universidad, con lo que la asignatura escogida es representativa para todos los casos, ya que en la mayoría de casos compartían la misma guía docente.

En la mayoría de los casos, los conceptos relacionados con sistemas digitales se trabajan en una única asignatura, y por tanto esta ha sido la seleccionada. En un número muy pequeño de casos, ha sido necesario seleccionar dos asignaturas pues los contenidos se encontraban divididos entre ambas.

De las asignaturas analizadas, se ha extraído el conjunto de competencias que se trabajan (Cuadro 2), que incluyen competencias del módulo de formación básica (FB), común a la rama de informática (MC), de tecnología específica de Ingeniería de Computadores (IC), de tecnología específica de Tecnologías de la Información (TI) y de tecnología específica de Ingeniería del Software (IS). El Cuadro 2 muestra las competencias del Acuerdo de Consejo de Universidades anteriormente citado y que se han encontrado en alguna de las guías docentes analizadas.

Id.	Competencia	Módulo
CFB1	Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; cálculo diferencial e integral; métodos numéricos; algorítmica numérica; estadística y optimización.	FB
CFB2	Capacidad para comprender y dominar los conceptos básicos de matemática discreta, lógica, algorítmica y complejidad computacional, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.	FB
CFB3	Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.	FB
CFB4	Comprensión de la estructura, organización, funcionamiento e interconexión de los sistemas informáticos, los fundamentos de su programación, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.	FB
CFB5	Comprensión y dominio de los conceptos básicos de campos y ondas y electromagnetismo, teoría de circuitos eléctricos, circuitos electrónicos, principio físico de los semiconductores y familias lógicas, dispositivos electrónicos y fotónicos, y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería.	FB
CI103	Capacidad de dar solución a problemas de integración en función de las estrategias, estándares y tecnologías disponibles.	IS
CI201	Capacidad de diseñar y construir sistemas digitales, incluyendo computadores, sistemas basados en microprocesador y sistemas de comunicaciones.	IC
CI202	Capacidad de desarrollar procesadores específicos y sistemas empujados, así como desarrollar y optimizar el software de dichos sistemas.	IC
CI502	Capacidad para seleccionar, diseñar, desplegar, integrar, evaluar, explotar y mantener las tecnologías de hardware, software y redes, dentro de los parámetros de coste y calidad adecuados.	TI

Cuadro 2: Competencias trabajadas en las asignaturas relacionadas con sistemas digitales.

Del análisis de los contenidos se han encontrado una serie de bloques o temas que corresponden a: abstracción digital, representación de la información, álgebra de Boole, puertas lógicas, sistemas combinacionales, sistemas secuenciales, lógica programable, organización básica de la CPU y memorias. De forma menos representativa, también se han encontrado algún otro contenido relacionado con la física, la electrónica o temas adicionales de la arquitectura de computadores. Todos estos últimos casos los hemos englobado como *Otros*. Para indicar el nivel de profundidad con el que se trabaja cada uno de los conceptos o temas, se ha incluido un círculo, cuyo relleno indica el nivel de profundidad de cada uno de los temas.

Los Cuadros 3 y 4 muestran la asignaturas analizadas, la información de su planificación y los contenidos trabajados.

Finalmente, en el caso de los recursos, la bibliografía que se ha encontrado en las guías docentes seleccionadas se muestra en el Cuadro 5. Este listado solo incluye aquellos libros incluidos en al menos tres guías docentes y que estén relacionados con sistemas digitales.

La recopilación de las herramientas y software utilizado como soporte de la asignatura o para la realización de las prácticas de las mismas ha sido más complicada. Esta información no se ha encontrado siempre directamente explicitada en las guías docentes, y a veces ha sido necesario deducirla a partir de la bibliografía u otros contenidos. Incluso, en la mayoría de las ocasiones no ha sido posible establecerse. De forma resumida, algunas de las herramientas que se han encontrado

explicitadas son Proteus², LogicWorks³, Digital⁴, OrCAD⁵ y PSpice⁶.

4. Análisis

En relación a las planificación y modalidad de la asignatura, la mayoría de asignaturas análogas son de formación básica, a excepción de algunos casos que está definida como materia de módulo común. Incluso existen dos universidades en las que los contenidos relacionados con sistemas digitales se imparten en asignaturas del módulo de especialización del itinerario de Ingeniería de Computadores.

De forma mayoritaria, las asignaturas relacionadas con sistemas digitales se encuentran situadas en el primer curso de los estudios, aunque no destaca ninguno de los dos semestre por encima del otro.

En relación a las competencias trabajadas, la más habitual es la identificada como CFB4 (Cuadro 2), seguidas de la CFB5, y en tercer lugar por la competencia CCM09. Esto se debe al propio hecho de que la mayoría de las asignaturas analizadas son de formación básica, y por tanto están asociadas a competencias de dicho módulo.

Para una mejor análisis de los contenidos de las asignaturas, hemos clasificado las asignaturas en grupos. Para ello, se ha aplicado un algoritmo de agrupación sobre las columnas correspondientes a los contenidos. Más concretamente se ha aplicado un algoritmo jerárquico aglomerativo [6]. Este tipo de algoritmos empie-

²<https://www.labcenter.com/>

³<https://www.designworkssolutions.com/logicworks/>

⁴<https://github.com/hneemann/Digital>

⁵<https://www.orcad.com/>

⁶<https://www.pspice.com/>

	Universidad - Asignatura	Planif.		Competencias										Contenidos												
		Créditos	Módulo ^a	Semestre/Curso	CFB1	CFB2	CFB3	CFB4	CFB5	CCM04	CCM08	CCM09	CCM14	CI103	CI201	CI202	CI502	Abstracción digital	Representación información	Alg. Boole	Puertas lógicas	Combinacionales	Secuenciales	Lógica programable	Estructura CPU	Memoria
Grupo 1	UHU Fundamentos de Computadores	6	FB	1/1	✓					✓							●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
	UVA Sistemas Digitales	6	FB	1/1			✓										○	○	●	●	●	○	○	○	○	○
	UAB Fundamentos de los Computadores	6	FB	1/2			✓										○	○	●	●	●	○	○	○	○	○
	USJ Sistemas lógicos	6	MC	1/2													○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	UMH Tecnología de computadores	6	MC	2/2				✓	✓		✓	✓					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ULL Sistemas electrónicos digitales	6	FB	1/2					✓								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
UFV Electrónica y tecnología de computadores	6	FB	1/2					✓								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Grupo 2	UJA Electrónica digital	6	FB	1/2					✓							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	UPSA Fundamentos y tecnología de computadores	6	FB	1/1				✓		✓			✓			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	UNILEON Electrónica	6	FB	1/1							✓					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	URV Fundamentos de computadores	6	FB	1/2				✓	✓							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Grupo 3	UBU Diseño e implementación de sistemas digitales	6	O	4/2									✓	✓		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	UJI Diseño de sistemas digitales	6	O	4/1									✓			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	UdC Fundamentos de los computadores	6	FB	1/2				✓		✓			✓			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Grupo 4	UCLM Tecnología de computadores	6	FB	1/1	✓		✓		✓							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	ULPGC Fundamentos de computadores	6	FB	1/1			✓	✓		✓						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	UNED Fundamentos de sistemas digitales	6	FB	1/1				✓								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	UPM Sistemas digitales	6	FB	1/2												○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	UAM Fundamentos de computadores	6	FB	1/1				✓								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	UAH Fundamentos de tecnologías de computadores	6	FB	1/1					✓		✓					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
UC3M Tecnología de computadores	6	FB	1/2				✓	✓							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

^a Módulo: FB Formación Básica; MC Módulo común; O Optativa.

Cuadro 3: Asignaturas relacionadas con sistemas digitales de las universidades pertenecientes a la CODDII y agrupación obtenida en base a los contenidos.

zan clasificando cada asignatura de forma individual en un grupo independiente, y en cada paso del algoritmo se juntan los dos grupos más similares. De esta forma se genera un estructura en forma de dendograma. Posteriormente, y mediante la visualización del dendograma, se pueden establecer el número de grupos adecuados para cada problema. De este proceso hemos obtenido 10 grupos de universidades clasificadas en función de los contenidos incluidos. Los grupos resultantes se muestran en los Cuadros 3 y 4 separados por líneas horizontales.

Del análisis de los contenidos, se observa que la mayoría de asignaturas trabajan los bloques temáticos correspondientes a representación de la información, álgebra de Boole, puertas lógicas, sistemas combinacionales y sistemas secuenciales. La inclusión de contenidos relacionados con la lógica programable y los lenguajes de descripción de hardware es mucho menos representativo, dado que estos contenidos están incluidos en solo aproximadamente el 30% de los casos. Ade-

más, se observa también que hay un número de casos, que aunque no es representativo sí que es destacable, en los que se incluyen bloques temáticos relacionados con la estructura de computadores (CPU, memoria, Entrada/Salida) y algunos más minoritarios que incluyen contenidos relacionados con la electrónica y los circuitos eléctricos.

A primera vista, se ve que los bloques temáticos de representación de información, álgebra de Boole, puertas lógicas, sistemas combinacionales y sistemas secuenciales son el núcleo básico de la mayoría de los grupos de asignaturas. Aunque aquellas asignaturas que no incorporan, o bien representación de la información, o bien álgebra de Boole, han sido clasificadas en dos grupos diferentes (grupos 1 y 2 del Cuadro 3). Otro de los grupos aparece por la inclusión de contenidos relacionados con memoria, pero dejando aparte otros temas de la estructura de computadores (grupo 4 del Cuadro 3). También se observa como un número reducido de asignaturas solo cubren contenidos de sis-

		Planif.		Competencias										Contenidos														
Universidad - Asignatura		Créditos	Módulo ^a	Semestre/Curso	CFB1	CFB2	CFB3	CFB4	CFB5	CCM04	CCM08	CCM09	CCM14	CI103	CI201	CI202	CI502	Abstracción digital	Representación información	Alg. Boole	Puertas lógicas	Combinacionales	Secuenciales	Lógica programable	Estructura CPU	Memoria	Otros	
Grupo 5	UdG Estructura i tecnologia de computadores I	9	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	
	UCAM Fundamentos de computadores	4,5	FB	1/1				✓	✓									○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	Deusto Electrónica digital	6	FB	1/1														○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UV Tecnología de computadores y Fundamentos de computadores	6	FB	1/1	✓	✓			✓									○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	URJC Fundamentos de computadores	6	MC	1/2	✓	✓		✓	✓		✓					✓		○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
Grupo 6	UCO Fundamentos y Estructura de Computadores	6	FB	1/2				✓										●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	
	UCA Sistemas Digitales	6	FB	1/2														●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UNIOVI Fundamentos de computadores y redes	6	FB	1/2			✓	✓										●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	
	UPC Introducción a los computadores	7,5	FB	1/1			✓	✓	✓	✓		✓						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Grupo 7	UIB Sistemas Digitales	6	MC	1/1							✓							●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UMA Fundamentos de electrónica	6	FB	1/1					✓									●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UGR Tecnología y Organización de Computadores	6	MC	1/2			✓											●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	
	UNEX Tecnología de computadores	6	FB	1/1			✓	✓										●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UNICAN Sistemas digitales	6	FB	1/1			✓	✓										●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UEM Bases de la informática y Estructura de computadores	6	FB	1/2			✓				✓							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Grupo 8	UAL Estructura y Tecnología de Computadores	6	FB	1/2				✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	USAL Computadores I	6	FB	1/1				✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UNIR Tecnología de computadores	6	FB	1/1							✓							○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UM Fundamentos de computadores y Estructura y tecnologías de computadores	6	FB	1/1			✓	✓										○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	EHU/UPV Principios de diseño de sistemas digitales	6	FB	1/1					✓									○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UDIMA Tecnología y estructura de computadores	6	MC	1/-					✓		✓							○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
Grupo 9	UPO Sistemas Digitales	6	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	US Circuitos Electrónicos Digitales	6	FB	1/1				✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UB Diseño digital básico	6	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	URL Introducción a los ordenadores	9	FB	1/A															○	●	●	●	○	○	○	○	○	
	UdL Estructura de computadores I	6	FB	1/1				✓			✓							○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UNIRIOJA Estructura de computadores	6	FB	1/2				✓			✓							○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UNIZAR Introducción a los computadores	6	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UPV Fundamentos de computadores	6	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	USC Sistemas digitales	6	FB	1/1			✓	✓										○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UVIGO Sistemas digitales	6	FB	1/1			✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓		○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
	UOC Fundamentos de computadores	6	FB	1/-															○	●	●	●	○	○	○	○	○	○
	UCM Fundamentos de computadores I	6	MC	1/1					✓									○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	
UA Fundamentos de los computadores	6	FB	1/1				✓	✓									○	●	●	●	○	○	○	○	○	○		
Grupo 10	UPF -	-	-	-																								
	UEMC -	-	-	-																								
	UPNA -	-	-	-																								

^a Módulo: FB Formación Básica; MC Módulo común; O Optativa.

Cuadro 4: Asignaturas relacionadas con sistemas digitales de las universidades pertenecientes a la CODDII y agrupación obtenida en base a los contenidos.

Thomas L. Floyd. <i>Fundamentos de Sistemas Digitales</i> . Ed. Prentice Hall. 2016. ISBN: 849035300X.
John P. Hayes. <i>Introducción al Diseño Lógico Digital</i> . Addison-Wesley Iberoamericana. 1996. ISBN 0-201-62590-3
Mano M. Morris y Charles R. Kime. <i>Fundamentos de diseño lógico y de computadores</i> . 2005. Pearson Prentice-Hall. ISBN: 8420543993.
Javier García Zubía. <i>Problemas resueltos de electrónica digital</i> . Editorial Paraninfo. Madrid. 2012
Ronald J. Tocci. <i>Sistemas digitales. Principios y aplicaciones</i> . Pearson International. 2007 ISBN: 978-970-26-0970-4
Daniel D. Gajski. <i>Principios de diseño digital</i> . Prentice Hall. Madrid. 1997. ISBN 8483220040.
Antonio Lloris Ruiz, Alberto Prieto Espinosa y Luis Parrilla Roure. <i>Sistemas digitales</i> . McGraw-Hill. Madrid. 2003. ISBN: 9788448191887.
Charles H. Roth. <i>Fundamentos de diseño lógico</i> . Thomson. 2009.
John F. Wakerly. <i>Diseño Digital. Principios y Prácticas</i> . Pearson Educación. 3ª edición. 2001. ISBN 9702607205
David Harris y Sarah Harris. <i>Digital Design and Computer Architecture</i> . Morgan Kaufmann. 2012. ISBN: 9789382291527
José M ^a Angulo y Javier García Zubía. <i>Sistemas Digitales y Tecnología de Computadores</i> . Paraninfo.
Enrique Mandado Pérez. <i>Sistemas electrónicos digitales</i> . Editorial Barcelona Marcombo. 2014
Roger Tokheim. <i>Electrónica digital. Principios y aplicaciones</i> . McGraw Hill. 2008. ISBN 970-10-6667-7
Milos Ercegovac, Tomás Lang y Jaime H. Moreno. <i>Introduction to Digital Systems</i> . John Wiley and Sons. 1999
Carmen Baena Oliva. <i>Problemas de circuitos y sistemas digitales</i> . Madrid Mac Graw-Hill 1997.
Herbert Taub. 'Circuitos Digitales y microprocesadores'. Ed. McGraw-Hill. 1983

Cuadro 5: Listado de la bibliografía referenciada en las guías docentes de las asignaturas seleccionadas.

temas combinatoriales y secuenciales, sin incluir los temas anteriores, e incluyendo lógica programable o estructura de la CPU (grupo 3 del Cuadro 3).

Existe también una clara agrupación de aquellas asignaturas que no cubren abstracción digital, pero sí que añaden al bloque básico comentado anteriormente los contenidos de lógica programable y estructura de CPU (grupo 5 del Cuadro 4). En el grupo 6 del Cuadro 4 vemos que se concentran las asignaturas que cubren prácticamente la totalidad de los bloques temáticos considerados. En el grupo 7 de este segundo cuadro se engloban las asignaturas que incluyen el bloque básico junto con el tema inicial de abstracción digital. Los grupos 8 y 9 del Cuadro 4 incluyen asignaturas que cubren los contenidos del núcleo básico, sin incluir los de abstracción digital. La diferencia entre ambos grupos es la inclusión de los contenidos referentes a estructura de computadores en uno de ellos, o, para el otro grupo, la inclusión adicional de contenidos mínimos o la no inclusión de ningún contenido adicional.

También es destacable el hecho de que hay tres universidades que no contemplan la inclusión de contenidos de sistemas digitales en sus planes de estudios. Situación que se observa en el grupo 10 del Cuadro 4.

Del Cuadro 5, que incluye las referencias bibliográficas encontradas en las guías docentes, hay que clarificar que se encuentran ordenadas por número de ocurrencias. Es decir, el primero de la lista es el libro que se encuentra incluido en un mayor número de guías docentes, y el último se encuentra únicamente en 3 guías docentes (ya que 3 era el valor mínimo de veces que se había establecido para que un libro en particular apareciera en el listado analizado). Es importante indicar que el primero de los libros, cuyo autor es Thomas L. Floyd [2], es el más utilizado en todas las asignaturas con una enorme diferencia sobre el segundo. Por lo que podríamos decir que este es el libro más representativo para los contenidos de sistemas digitales, si se usa el

criterio de popularidad en la bibliografía de las guías docentes.

5. Conclusiones

Este artículo presenta el resultado de llevar a cabo una análisis exhaustivo de las guías docentes de asignaturas que incluyen contenidos relacionados con sistemas digitales y que se imparten en titulaciones del Grado de Ingeniería en Informática. Gracias a este análisis se han elaborado unos cuadros resumen que muestran la temporalización de las asignaturas, las competencias trabajadas y los contenidos incluidos. Además, se ha hecho un análisis de los recursos (bibliografía y herramientas informáticas) utilizados en estas asignaturas.

De forma general, se ha visto que los contenidos de sistemas digitales están incluidos en los módulos de formación básica y situado en el primer curso de los estudios. Hay un gran rango de competencias trabajadas, aunque destacan principalmente aquellas de formación básica relacionadas con la estructura y organización de sistemas informáticos y la teoría de circuitos y principios físicos.

Sería interesante conocer las consecuencias de esta distribución de contenidos, competencias y planificación. Para poder llegar a hacer un análisis más profundo sería necesario plantear preguntas tales como ¿Qué efecto tiene abordar únicamente contenidos relacionados con sistemas digitales? ¿Qué beneficios ofrece el anticipar contenidos de la estructura de computadores en este tipo de asignaturas? ¿Es adecuado incorporar contenidos de Electrónica o de Física? ¿Qué efecto tiene ubicar esta asignatura en el primer o segundo cuatrimestre? ¿Cuáles son los motivos para no incorporar contenidos de sistemas digitales, o incluirlos en una única de las menciones, en los planes de estudios del Grado en Ingeniería Informática?, etc. Todas estas pre-

guntas no pueden ser respondidas exclusivamente mediante el análisis de las guías docentes. La realización de encuestas o entrevistas a los profesores responsables de dichas asignaturas, o incluso a los gestores de las titulaciones, aportarían información más detallada para el análisis de los preguntas planteadas. Como trabajo futuro se establece este objetivo para poder ofrecer una visión más exacta de la situación.

Adicionalmente, podría ser muy interesante extender este análisis a toda la rama de asignaturas de arquitectura de computadores. De esta forma se podría tener una visión global de todo el área de conocimiento. Por tanto, otro trabajo futuro a considerar es extender este análisis a todas las asignaturas de la rama.

En cualquier caso, hay que recordar que toda la información presentada en este artículo ha sido extraída de las guías docentes del curso 2020/21. En algunas ocasiones, la interpretación de la guía docente puede haber dado lugar a errores en los contenidos impartidos debido a la falta de detalle de los mismos. La revisión de la docencia de sistemas digitales aquí presentada tiene como objetivo ser un trabajo vivo, que se vaya actualizando. Por lo que si cualquier persona relacionada con las asignaturas listadas quiere concretar o clarificar alguna información aquí presentada, puede contactar con el primero de los autores.

Referencias

- [1] CODDII. Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería Informática. ANECA. http://www.aneca.es/var/media/150388/libroblanco_jun05_informatica.pdf, 2003. Accedido: 11-01-2021.
- [2] Thomas L Floyd. *Fundamentos de sistemas digitales*. Prentice Hall, 2016.
- [3] CC2020 Task Force. *Computing Curricula 2020. Paradigms for Global Computing Education*. ACM, AIS and IEEE-CS, 2020.
- [4] Joint Task Group on Computer Engineering Curricula. *Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering*. ACM, AIS and IEEE-CS, 2016.
- [5] Joint Task Group on Computing Curricula. *Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science*. ACM, AIS and IEEE-CS, 2013.
- [6] Lior Rokach and Oded Maimon. *Clustering Methods*, pages 321–352. Springer US, Boston, MA, 2005.
- [7] Allen B. Tucker. Computing curricula 1991. *Commun. ACM*, 34(6):68–84, June 1991.