

¿Cuáles son los sustitutos de los transistores actuales? Actividades de debate y estudio dirigidas en Electrónica de Dispositivos

What are the substitutes of the current transistors? Debate and supervised study activities in Electronics of Devices

Ingenierías

JUAN ANTONIO LEÑERO BARDALLO

<https://orcid.org/0000-0002-1741-9743>

Universidad de Sevilla. Facultad de Física. Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
jlenero@us.es

Resumen. La presente comunicación resume los resultados obtenidos tras la implementación de un Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) de la asignatura de Dispositivos y Tecnologías Micro y Nanométricas impartida en el Máster de Microelectrónica de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022. Como novedad, se propuso que los alumnos hicieran búsquedas en un portal especializado sobre dispositivos semiconductores emergentes, con el fin de que este material fuera objeto de estudio y debate en clases posteriores. Los resultados de la innovación docente indican que los alumnos se sienten más motivados y obtienen mejores resultados al ser ellos mismos los que generan su material de estudio. En paralelo, las actividades de debate contribuyen a mejorar su exposición oral en público, lo cual les beneficia a corto y largo plazo.

Palabras clave: Asignatura de dispositivos y tecnologías micro y nanométricas, máster de microelectrónica, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, búsqueda de bibliografía.

Abstract. This communication summarizes the results obtained after the implementation of a Cycle of Improvement in the Classroom for the subject *Devices and Micro and Nanotechnologies* of the Master in Microelectronics of the University of Seville during the academic year 2021-2022. As a novelty, the students had to seek the teaching material about emerging electronic devices on a specialized portal on the matter. This study material was used afterward by the students to study the subject and to organize debate activities in the classroom. The results of the teaching experience suggest that the students are more motivated and get better results when they prepare themselves the study material. Moreover, debate activities contribute to improving their oral presentation skills, which is beneficial for them in the short and the long terms.

Keywords: Course about devices and micro and nano-technologies, university teaching, professional teaching development, bibliography searching.

Introducción

Descripción del contexto

La industria electrónica moderna está sufriendo un proceso de cambio irreversible en el que nuevos dispositivos emergentes sustituirán a los actuales. Ello conllevará un cambio radical en la forma de diseñar circuitos integrados que conocemos y en los temarios de asignaturas relacionadas con la electrónica de dispositivos. No resulta nada fácil aventurar cuál o cuáles de estos dispositivos emergentes dominarán el mercado de los semiconductores a corto plazo, puesto que existen múltiples factores que hacen imprevisible su evolución tecnológica y su demanda. Ante esta situación, se propuso un Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) (Delor, Hamed y otros, 2020) para permitir al alumno, en base al estudio de informes técnicos actualizados y

artículos científicos, forjar su propia opinión con relación al futuro próximo y la evolución de tales dispositivos.

Las actividades de la innovación docente se han desarrollado en la asignatura *Dispositivos y Tecnologías Micro y Nanométricas* que oferta la Universidad de Sevilla en el Máster en Microelectrónica, coordinado por el Departamento de Electrónica y Electromagnetismo. El máster tiene un año de duración. La asignatura es obligatoria y se imparte en el primer semestre. El número de alumnos matriculados ha oscilado entre 20 y 25 durante los últimos años, por lo que resulta relativamente fácil realizar actividades de debate con los alumnos.

Durante el curso, se estudian las leyes físicas y los modelos de comportamiento de los dispositivos electrónicos convencionales. Ejemplos de éstos son el diodo de unión, el transistor bipolar, el transistor MOSFET, etc. Como novedad, se propuso que a la vez que se fueron estudiando estos dispositivos, los alumnos estudiaran las limitaciones que ofrecen en un futuro próximo y posibles dispositivos alternativos que puedan, de alguna forma, solventar tales limitaciones. Para ello, una vez expuestas por parte del profesor las limitaciones de los dispositivos al uso, los alumnos hicieron búsquedas de información relacionadas con el tema en un portal especializado en dispositivos emergentes. En base a sus búsquedas, se organizaron actividades de debate que permitieron a los alumnos conocer y entender las limitaciones de los dispositivos actuales y posibles alternativas.

Conexión con el proceso previo

Se propuso un CIMA de 30 horas de duración. No se propusieron CIMA's anteriormente en la asignatura, aunque se partió de la experiencia acumulada en CIMA's anteriores en otras asignaturas afines de la titulación. Las experiencias anteriores han demostrado que las actividades de búsqueda de información por el alumno más su debate posterior en clase, tienen un impacto positivo en el aprendizaje (Finkel, 2008).

Diseño previo del CIMA

Mapa o red de contenidos y problemas/casos

En la Figura 1, se muestra el mapa de contenidos que se han abordado en el CIMA. Hay tres temas con los mismos contenidos que los alumnos han estudiado en cursos pasados y, que también, se estudian en éste. Cada uno de ellos aborda un dispositivo semiconductor distinto. Cada vez que se explicaba un tema en clase, los alumnos hacían un estudio sobre las limitaciones del dispositivo y una búsqueda en el repositorio del IRDS sobre dispositivos emergentes que mitigan esas limitaciones. A posteriori, se realizaba un debate en clase donde los alumnos exponían los resultados de su estudio y conclusiones. El tema último del curso (Tema 4) se modificó para que los alumnos hicieran uso de la información de las charlas de debate previas, con la idea de analizar cuáles son los dispositivos electrónicos emergentes más prometedores. Como novedad, en este último tema, el profesor no aportó apuntes de cátedra. Se utilizaron los materiales del IRDS aportados por los alumnos en las sesiones de debate de los tres temas previos. Por tanto, los contenidos de clase de este tema surgieron a partir de una actividad previa realizada en clase. Ésta es la principal novedad del CIMA. *Se persiguió que el alumno consiguiese una visión crítica y una opinión personal razonada sobre el tema.*

En el mapa de contenidos, mediante un código de color, se indican los contenidos teóricos de la asignatura, las actividades que se realizan en clase para generar los contenidos del Tema 4 y las competencias/actitudes que los alumnos desarrollarán con el CIMA. El CIMA fue diseñado para potenciar la capacidad de debate crítico de los alumnos, su capacidad para analizar y buscar documentos técnicos, así como la capacidad de exposición pública. En paralelo, los

alumnos aprendieron a utilizar un repositorio con información técnica muy actualizada. Se pretendía que los alumnos lo pudieran reutilizar durante su vida profesional cuando quieran obtener información actualizada.

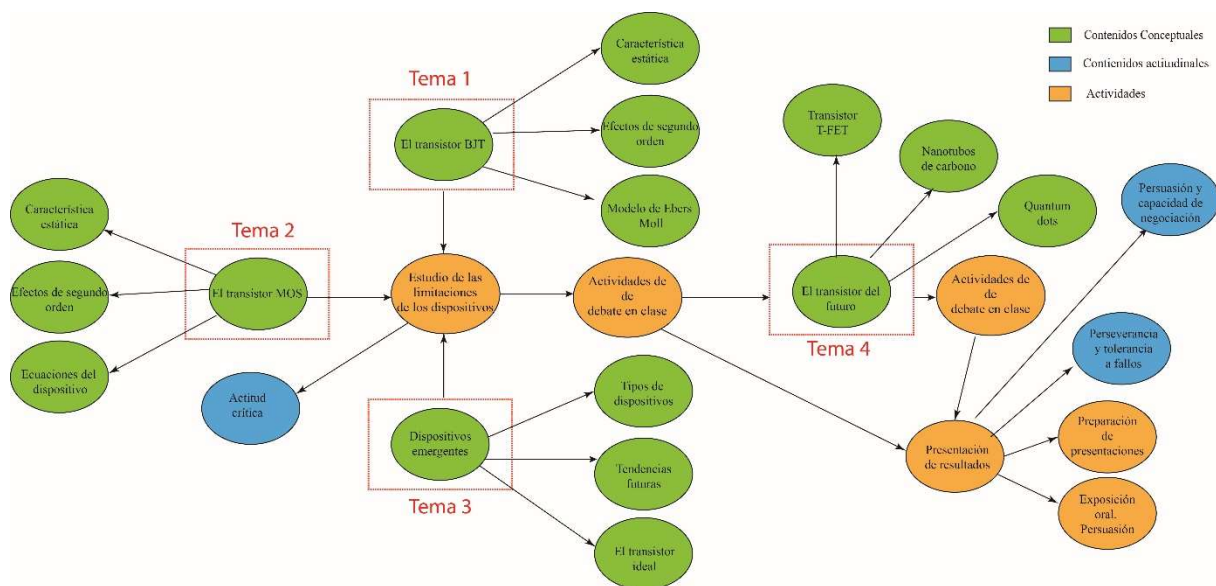


Figura 1. Mapa de contenidos propuesto

Modelo metodológico posible

Se planteó como objetivo que el alumno alternase el estudio individualizado de material docente con la búsqueda de información relevante para asignatura, que posteriormente discutió con el resto de la clase. Se pretendía que el alumno forjara una opinión crítica sobre las limitaciones de la electrónica, tal como la conocemos actualmente, y llegase a tener su propia opinión sobre el tema.

En los cursos pasados, la secuencia habitual de actividades ha sido la siguiente:

- Publicación del material docente de cada tema
- Explicación del tema por el profesor
- Tutorías
- Publicación boletín de problemas
- Entrega del boletín

Al comienzo de la asignatura, se publicó un documento detallado con la descripción del CIMA y sus objetivos. El modelo metodológico a implementar proponía la secuencia de actividades siguiente para cada uno de los tres primeros temas de la asignatura:

- El material docente de estudio se publicaba una semana de antelación antes de que se impartiera cada tema de la asignatura.
- El profesor explicaba el tema en cuestión.
- Los alumnos hacían búsquedas de información actualizada sobre las limitaciones que presentan cada uno de los dispositivos que se fueron estudiando. La búsqueda se hizo, previo registro del alumno, en el portal del *IEEE International Technology Roadmap for Semiconductors* (IRDS, <https://irds.ieee.org/>).
- Se organizaba una sesión de debate en la que los alumnos discutían y analizaban la información que habían obtenido.
- Se publicaba un boletín de ejercicios asociado a cada tema.
- Los alumnos entregaban las soluciones propuestas al profesor.

El último tema de la asignatura (Tema 4) trataba sobre dispositivos emergentes futuros. En este tema, la secuencia de actividades cambió, según se indica:

- El material docente de estudio para este tema fue el proporcionado por los alumnos en las sesiones de debate de los tres temas anteriores.
- El profesor explicó el tema en cuestión y dio una opinión crítica.
- Hubo una sesión de debate en la que los alumnos discutieron y analizaron la información que habían obtenido. Se trataba de responder a la pregunta que motivaba el CIMA.
- La entrega de este tema consistió en una memoria individualizada en la que cada alumno dio su visión crítica sobre el tema en cuestión.
- La memoria fue entregada y evaluada por el profesor.

Secuencias de actividades programadas

En la Figura 2, se ilustra con diagramas las secuencias de actividades de cada uno de los cuatro temas de la asignatura. Puede verse que, en el Tema 4, el material de estudio no lo proporcionó el profesor, como en los anteriores. Este material de estudio surgió a partir de las actividades de debate y búsqueda realizadas por los alumnos en los temas anteriores. La duración de cada actividad se indica en el gráfico.

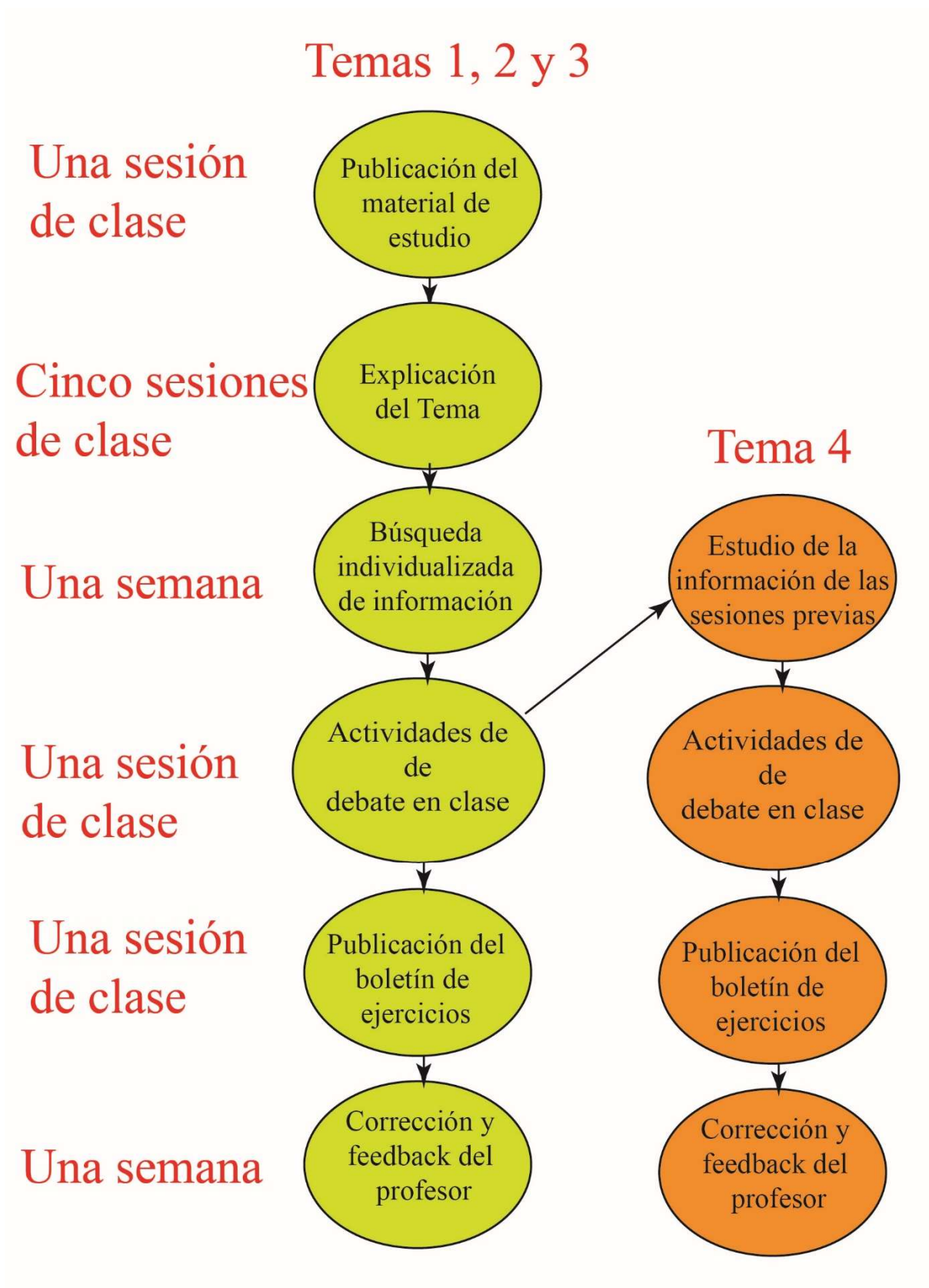


Figura 2. Secuencia de actividades en los temas de la asignatura. En el Tema 4, el material de estudio surgió a partir de las actividades de debate y búsqueda de los tres temas anteriores. Se indica la duración estima de cada actividad

Puesto que los alumnos debían registrarse en el repositorio del IRDS para descargar y acceder a los documentos que presentarían y analizarían, el profesor publicó un manual en el que se explicaban ambos procedimientos. En las Figuras 3 y 4, se muestran capturas del manual con las indicaciones que se proporcionaron.

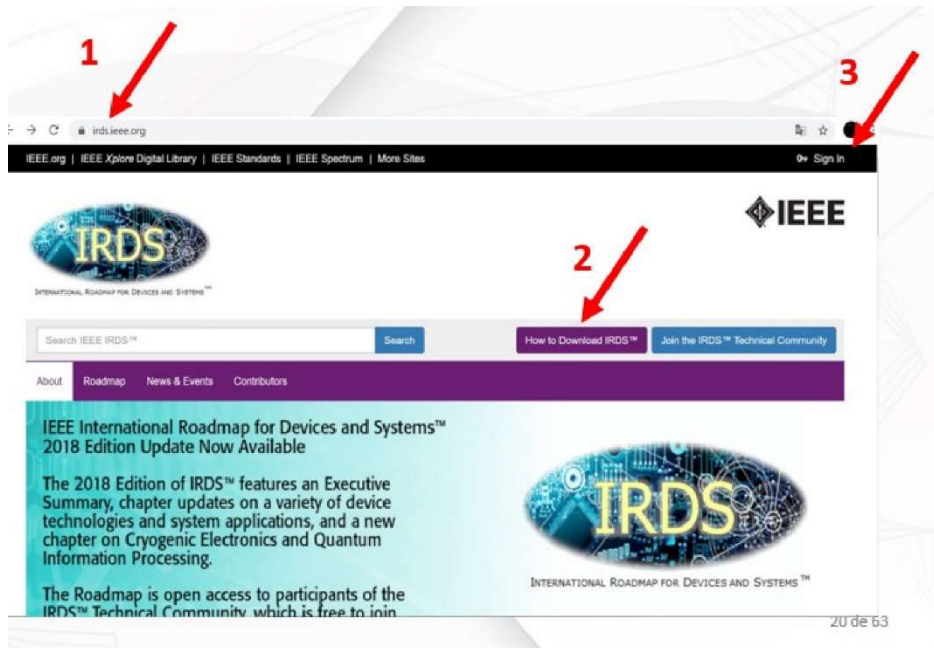


Figura 3. Captura que se aportó a los alumnos junto con las instrucciones para que se registraran en el portal del IRDS

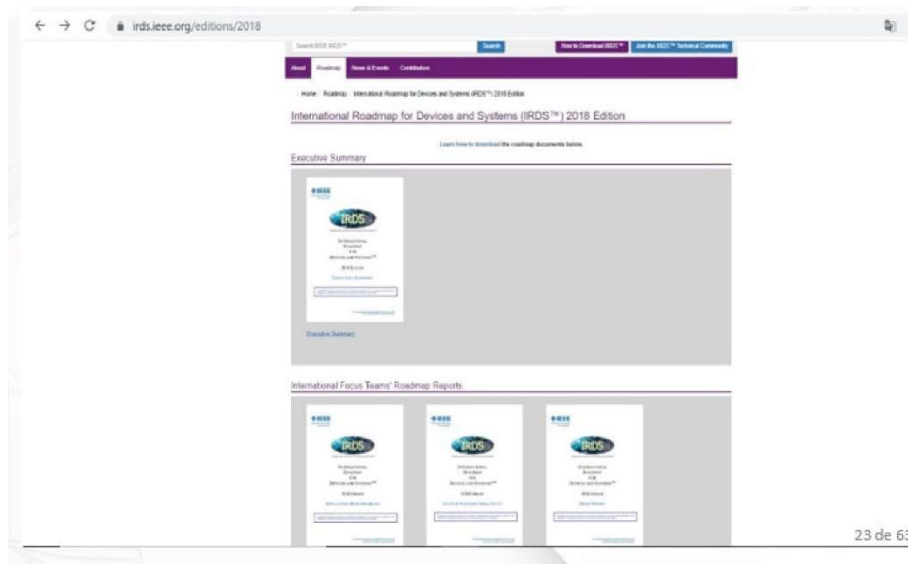


Figura 4. Captura del repositorio del IRDS. Se muestran varios documentos actualizados sobre la temática de la asignatura que los alumnos podían descargar

Las actividades principales programadas para el CIMA son las que se indican en la Tabla 1. Aparte de las actividades individualizadas y las actividades de debate propuestas a los alumnos, como novedad, en el último tema de la asignatura (Tema 4), dedicado al estudio de los dispositivos emergentes, se estudió con los materiales previamente aportados por los alumnos en los temas anteriores. Por tanto, no hubo apuntes de clase proporcionados por el profesor

como en los temas anteriores. Se esperaba que, de esta forma, los alumnos forjaran una visión crítica y personal sobre un tema controvertido: los dispositivos emergentes que dominarán la electrónica de consumo a largo plazo.

Tabla 1. Actividades principales programadas para el CIMA

| |
|---|
| Presentación del CIMA |
| Publicación de las instrucciones del CIMA y su calendario de sesiones programadas |
| Primera actividad de debate |
| Segunda actividad de debate |
| Tercera actividad de debate. |
| Cuarta actividad de debate |
| Encuesta de evaluación del CIMA. |
| Publicación de calificaciones y resultados del CIMA. |

La duración del CIMA fue de 30 horas.

Aplicación del CIMA

Relato resumido de las sesiones

A continuación, se resume el desarrollo de las sesiones de trabajo en las que se aplicó el CIMA. Se resumen la sesión inicial de comienzo del CIMA, las sesiones de teoría, las sesiones de debate y las sesiones de corrección de ejercicios tras la sesión de debate.

En la primera sesión de comienzo del CIMA, se informó a los alumnos de que se iba a poner en práctica un nuevo CIMA en la asignatura. En general, la aceptación de la propuesta fue favorable. Sin embargo, los alumnos repetidores de cursos anteriores mostraron inquietud porque lo que habían ya estudiado en cursos pasados no les sirviera. Algunos alumnos repetidores habían decidido con antelación no asistir a clase, ya que en cursos anteriores la asistencia no era obligatoria. Ante eso, el profesor tuvo que informarles que los contenidos de la asignatura no iban a cambiar en el presente curso, pero sí la metodología docente, con lo que los conceptos adquiridos en cursos anteriores facilitarían la asignatura para los alumnos repetidores. Se aprovechó la sesión para presentar el calendario tentativo del CIMA y la metodología de trabajo propuesta para su implementación.

Las sesiones de clase transcurrieron según lo esperado en los tres primeros temas de la asignatura. En esos temas, el profesor presentaba con antelación el material de estudio sobre el cual los alumnos trabajarían y organizarían las sesiones de debate a posteriori. Las sesiones de clase de los temas dos y tres transcurrieron de forma distinta a las del primer tema. El motivo fue que los alumnos ya sabían que tenían que buscar a posteriori información para elaborar los debates en función de los conceptos presentados por el profesor en clase. En consecuencia, los alumnos preguntaron mucho en las clases de los temas segundo y tercero porque sabían que un buen rendimiento en estas clases facilitaría sus tareas de búsqueda de información a posteriori. En el tema cuarto, las sesiones de clase se daban con el material de clase aportado por los alumnos en las sesiones de debate de los tres temas previos. Ello supuso retos tanto para el profesor como para los alumnos. Por una parte, el profesor tuvo que preparar las clases con un material distinto al que venía utilizando tradicionalmente. El orden en el que se presentaron los contenidos fue elegido por el propio profesor. Por parte del alumnado, el estudio del tema implicaba aceptar como válida la información aportada por otros compañeros. En ese sentido, los alumnos

tendieron a volcar su atención en los contenidos aportados por ellos mismos que en los aportados por otros compañeros. Como mejora futura del CIMA, se proponen *actividades para concienciar a los alumnos de aceptar otros puntos de vista* para preparar el tema.

Las actividades de debate supusieron el punto a destacar en el CIMA. En ellas, hubo una gran participación por parte de los alumnos. Éstos tendieron a defender sus propias propuestas frente a las de otros compañeros, lo cual contribuyó a reforzar su aprendizaje, ya que para defender con vehemencia su punto de vista, necesitaban conocer a fondo las ventajas de los dispositivos semiconductores emergentes que habían estudiado frente a otros. Quizás, como punto negativo, ha de destacarse que algunos alumnos se mostraron intransigentes para aceptar ideas provenientes de otros compañeros, lo cual les cegó a la hora de explorar y ampliar conocimientos frente a los que presentaban otros compañeros. En ese sentido, el profesor tuvo que intervenir para moderar el debate y hacer que los planteamientos que se presentaron de forma más elaborada fueran aceptados por la mayoría de los estudiantes.

Las actividades de corrección de ejercicios se realizaron de la misma forma que en años anteriores, con el fin de comparar el desempeño de los estudiantes tras el CIMA con el de cursos anteriores. En general, el rendimiento de los estudiantes fue superior al de años anteriores. Ha de destacarse que las respuestas fueron mucho más elaboradas en muchos casos. También, que algunos problemas tuvieron un rendimiento bajo porque versaban sobre dispositivos que los alumnos no habían seleccionados entre los más destacados. Esto no se considera un hándicap en el aprendizaje, ya que es preferible un conocimiento profundo sobre un conjunto de dispositivos que un aprendizaje más superficial sobre un conjunto mayor de dispositivos emergentes.

Evaluación del aprendizaje de los estudiantes

El seguimiento del rendimiento de los alumnos con los cambios introducidos se realizó en las sesiones de debate y a través de los ejercicios propuestos a los alumnos en los boletines de ejercicios asociados a cada tema.

Para realizar la evaluación se utilizó la hoja de seguimiento de la Tabla 2. Dicha tabla recoge todas las actitudes y competencias evaluadas en el alumnado en cada uno de los cuatro temas de la asignatura.

Tabla 2. Ficha para el seguimiento de los estudiantes durante el CIMA

| Nombre | Comprensión del problema planteado | Capacidad para el debate y la exposición | ¿Qué información aporta el estudiante? | Se cumplen los objetivos | Se cumple la planificación propuesta | Actitud del alumno |
|----------|------------------------------------|--|--|--------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Alumno 1 | | | | | | |
| | | | | | | |
| Alumno n | | | | | | |

Se asignó una puntuación de 1 a 5 a cada uno de los alumnos, dependiendo de su desempeño en la realización del proyecto según la siguiente escala:

- 1-2: No se alcanzan los objetivos mínimos que se esperan del alumno.
- 3: Suficiente. El alumno demuestra ser capaz de adquirir los conocimientos elementales que se esperan.
- 4: Destacado. El alumno muestra dominio y una actitud crítica sobre el tema.
- 5: Excelente. Se reserva esta calificación para los alumnos, que además de alcanzar el nivel anterior, sean capaces de generar un debate constructivo y razonado sobre el tema con el resto de alumnos y el profesor.

Estas puntuaciones se utilizaron para elaborar las escaleras de aprendizaje para cuantificar el progreso de los alumnos en cada uno de los cuatro temas.

Dado que el conocimiento de los alumnos sobre el tema del CIMA es muy escaso o nulo al principio del CIMA, no se realizó un cuestionario inicial para evaluar la evolución de los estudiantes. La evaluación de la progresión del alumno se hizo a través de las hojas de seguimiento de los temas. Al final de cada tema, se elaboró una hoja de seguimiento que contenía la calificación media de los alumnos en todas las competencias evaluadas, según se indica en la Tabla 3. Los resultados permitieron analizar de forma cuantitativa la progresión de los alumnos a lo largo del CIMA y comprobar si había una mejora en las calificaciones obtenidas por los alumnos.

Tabla 3. Hoja de seguimiento para elaborar las escaleras de aprendizaje

| Tema | Compresión del problema planteado | Capacidad para el debate y la exposición | ¿Es acertada la información aportada? | Se cumplen los objetivos | Se cumple la planificación propuesta | Actitud del alumno |
|--------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Tema 1 | 3.0 | 3.2 | 2.5 | 2.5 | 5.0 | 4.0 |
| Tema 2 | 4.0 | 4.1 | 4.2 | 3.9 | 5.0 | 4.2 |
| Tema 3 | 4.5 | 4.4 | 4.5 | 4.3 | 4.0 | 4.4 |
| Tema 4 | 4.6 | 4.5 | 4.5 | 4.4 | 4.5 | 4.5 |

Nota: Los valores numéricos son la media ponderada de los resultados obtenidos en las hojas/fichas de seguimiento de cada uno de los temas.

En general la evolución de los estudiantes durante el CIMA fue satisfactoria. Si bien los resultados iniciales no fueron los deseados, a medida que fueron avanzando los temas, éstos mejoraron. En general, mejoró mucho la calidad de la información aportada por los alumnos tras la primera sesión. La razón principal fue que, en la primera sesión, los alumnos no fueron capaces de seleccionar la información de forma adecuada para realizar el debate en clase. De forma autónoma, los alumnos tomaron como referencia a aquellos alumnos que habían aportado información más adecuada en las sesiones de debate, mejorando sus resultados de forma significativa. Cabe destacar la evolución de los propios debates. Si bien los primeros fueron más desordenados y dispersos en cuanto a contenidos, los últimos se focalizaron más en el tema de la asignatura. La capacidad de exposición oral del alumnado en público mejoró mucho a lo largo de las sesiones. Por último, la planificación temporal se ajustó a la planificación prevista, aunque la última actividad de debate tuvo que adelantarse unos días sobre la fecha prevista para incluir sus resultados en esta publicación.

Evaluación del CIMA

Cuestiones a mantener y cambios a introducir para un futuro Ciclo de Mejora

En términos generales, la progresión ha sido satisfactoria, pero hay aspectos mejorables del CIMA que se tendrán en cuenta en cursos venideros. Quizás el aspecto que puede mejorarse más en el CIMA es la planificación temporal. Las actividades del CIMA se han realizado en apenas dos meses. Los alumnos y el profesor concuerdan en que lo ideal es que el CIMA se extienda durante todo el cuatrimestre en el que se imparte la asignatura. Las búsquedas bibliográficas son tareas que implican tiempo y realimentación por parte del profesor al alumnado para que los resultados sean óptimos. De igual forma, el alumnado madura mejor la teoría cuando tiene tiempo para contrastar sus ideas con las de otros compañeros.

Otro aspecto a mejorar es la detección temprana de alumnos que realmente no están trabajando y se aprovechan de la naturaleza del CIMA para presentar información ya aportada por otros compañeros, sin haberla madurado. Este aspecto puede mejorarse haciendo énfasis en cursos sucesivos en que las búsquedas de información y su estudio son actividades individualizadas.

En cuanto a los aspectos a mantener en cursos próximos, se consideran muy útiles las actividades de debate, que son enriquecedoras tanto para el profesor como para los alumnos. La capacidad de exposición de ideas en público se considera una competencia clave para los ingenieros que les beneficiará no solo en su vida profesional futura, sino también en el momento que tengan que presentar en público su Trabajo Fin de Estudios.

El hecho de que parte del material de estudio sea generado por los propios alumnos se considera muy enriquecedor y próximo a la realidad que van a encontrar en su vida profesional. El alumno se siente motivado al ver que sus decisiones influyen en el propio estudio de la asignatura, valorando la propia dificultad que entraña seleccionar información adecuada y elaborar unos apuntes de clase.

Adicionalmente al análisis del CIMA hecho por el profesor, en base a los resultados obtenidos, se pasará una encuesta de evaluación del propio CIMA a los alumnos participantes. A la fecha de redacción de este capítulo, estos resultados no estaban aún disponibles.

Aspectos de la experiencia que se pretenden incorporar a toda la práctica docente habitual

En relación con los resultados obtenidos en este CIMA, se refuerza la idea de mantener/reforzar los siguientes aspectos en la práctica docente habitual:

- *Actividades de debate y contraste de ideas en público.*
- *Actividades de búsquedas bibliográficas por parte del alumnado.*
- *Permitir que sea el alumnado el que seleccione parte del material de estudio de la asignatura.*
- *En cuanto al mapa de contenidos de la asignatura y el sistema de evaluación propuesto, no se proponen cambios futuros; ambos han demostrado ser adecuados para conseguir los objetivos propuestos.*

Principios Didácticos argumentados que han guiado la experiencia presente y que deben permanecer en el futuro

Los principios didácticos que han fundamentado la innovación docente en el proceso de enseñanza-aprendizaje y que deben permanecer en la asignatura son los siguientes:

- *La elección contenidos de interés para los estudiantes* y que estén relacionados con los dispositivos electrónicos que usan a diario. Este hecho tradicionalmente ha dado buenos resultados pedagógicos en la docencia de asignaturas de electrónica (Ausubel, 1978).
- *La adopción de un enfoque constructivista* (Delval, 1997), según el cual el alumno es el verdadero protagonista de su aprendizaje, teniendo éste un papel activo en el que no sólo reproduce los contenidos facilitados por el docente, pero, además, evalúa continuamente y somete a crítica de forma continua sus propios conocimientos (Gómez Rijo, 2010).
- *El aprendizaje basado en la realización de experiencias prácticas*, cercanas a la realidad y continuadas en el tiempo, es más efectivo y perdura más que un aprendizaje a ráfagas, basado en interminables días y noches de estudio intenso, unos días antes del examen (Finkel, 2008).

- *La creación de un entorno de trabajo enriquecedor* que lleve al alumno a trabajar de forma continuada y autónoma, y a plantearse interrogantes sobre los conceptos impartidos, y a aprender por sí mismos (Bain, 2007). La presentación en público de los resultados de los proyectos permite que los alumnos progresen por sí mismos, sin necesidad de que el profesor tenga que verificar el montaje de sus circuitos antes de realizar la toma de medidas.

Referencias Bibliográficas

- Ausubel, D. Novak, J. y Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart y Winston.
- Bain, K. (2006). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Delord, G.; Hamed, S.; Porlán, R. y De Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 128-162). Ediciones Morata.
- Delval, J. (1997). Tesis sobre el constructivismo. En M. J. Rodrigo y J. Arnay, *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 15-35). Paidós.
- Gómez-Rijo, A. (2010). *El alumnado como constructor de su propio aprendizaje en el área de educación física*. Universidad de Huelva.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.