

¿Cómo se diseña y se implementa un circuito digital? - Aplicación de conceptos teóricos sobre electrónica digital

How is a digital circuit designed and implemented? - Application of theoretical concepts about digital electronics

INGENIERÍAS

Autor: Francisco Eugenio Potestad Ordóñez

Orcid: 0000-0003-4107-2396

Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Tecnología Electrónica

Correo: fpotestad@us.es

Resumen. El desarrollo del Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) se ha llevado a cabo en la asignatura *Electrónica Digital* de segundo curso del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial impartido en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla. En este capítulo se detallan el diseño y resultados del CIMA desarrollado durante ocho horas de sesiones prácticas, donde se ha introducido a los alumnos en el uso de las herramientas de diseño y donde se les ha guiado a través del proceso de diseño y testado de circuitos digitales, aplicando los conceptos teóricos vistos en clase. Para ello, se ha fomentado un ambiente de trabajo participativo por parte de los alumnos, dándoles el protagonismo e incitándoles a ayudarse entre ellos y donde el docente ha tenido un papel de guía en las situaciones necesarias para que los alumnos interiorizaran los contenidos y completaran o modificaran sus ideas previas.

Abstract. The development of the improvement cycle in the class has been carried out in the Digital Electronics course of the second year of the Industrial Electronics Engineering Degree imparted at the Escuela Politécnica Superior of the University of Seville. This chapter details the design and results of the improvement cycle developed during eight hours of practical classes, where students have been introduced to the use of design tools and where they have been led through the process of design and testing of digital circuits, applying the theoretical concepts covered in class. For this, a participative work environment has been created for the students, giving them the leading role and encouraging them to help each other, and where the teacher has played a guidance role in the necessary situations for the students to incorporate the contents covered and complete their previous ideas.

Palabras clave. Electrónica digital, grado en ingeniería electrónica industrial, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, diseño digital.

Keywords. Digital electronic, industrial electronic engineering degree, university education, educational professional development, digital design.

Introducción

El desarrollo del (CIMA) (Delord y otros, 2020) se ha llevado a cabo en la asignatura *Electrónica Digital* de segundo curso del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Sevilla. Se trata de una asignatura obligatoria impartida por el Departamento de Tecnología Electrónica. Esta asignatura tiene su actividad formativa dividida en 45 horas de

clases teóricas y 15 horas de prácticas de laboratorio, siendo el ciclo de mejora desarrollado sobre las sesiones prácticas.

El objetivo de la aplicación del CIMA consistió en ofrecer a los alumnos una visión práctica del diseño de circuitos integrados, aplicando los conceptos teóricos vistos en clase y enlazándolos con aplicaciones reales, enfocando el contenido al proceso de diseño actual de los circuitos integrados como es el uso de herramientas de diseño CAD, herramientas de simulación y utilización de placas de desarrollo para el testado de los circuitos diseñados. Poder ofrecer a los alumnos las herramientas con las que poder diseñar, simular y testar sus circuitos basados en los contenidos vistos en teoría, es fundamental para que puedan comprender el funcionamiento, comportamiento e influencia de los componentes digitales en un circuito real durante el proceso de diseño e implementación de un circuito digital.

Diseño previo del CIMA

Mapa de contenidos

El mapa de contenidos engloba las sesiones prácticas 3 y 4 del programa de prácticas de la asignatura mencionada, además de una sesión adicional sobre el uso de herramientas de diseño CAD. Como puede observarse en la Figura 1, el mapa de contenidos se centra en la pregunta *¿Cómo se diseña e implementa un circuito digital?* Por lo tanto, a las sesiones de prácticas de la asignatura se les ha dado un enfoque de diseño de circuitos digitales, para comprender los diferentes componentes digitales vistos en teoría. El mapa se divide en tres subpreguntas fundamentales que son: *¿Qué funcionalidad deseo que tenga mi circuito y como lo diseño?*, *¿cómo compruebo su funcionalidad?* y Con estas preguntas, divididas en tres bloques, se trata de que el alumno tome el papel de un diseñador digital y de solución a los circuitos planteados durante las sesiones, proponiendo mejoras, modificaciones y optimizaciones mediante el uso de las herramientas de diseño, simulación e implementación. En la parte inferior de la figura aparece el código de colores para poder diferenciar los diferentes tipos de bloques de contenidos que llevarán al alumno a completar el proceso de diseño y en gris, las actitudes, valores y procedimientos enumerados que se reparten a lo largo de todo el mapa.

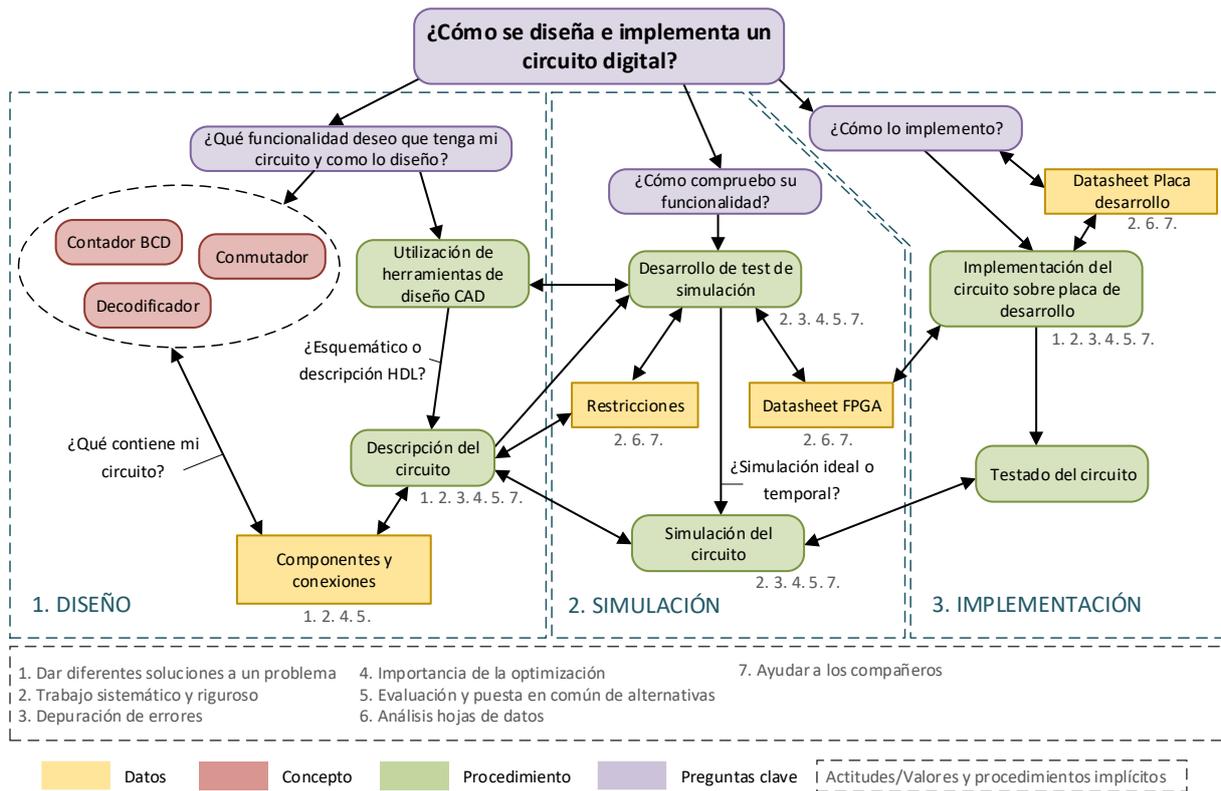


Figura 1. Mapa de contenidos utilizado en el ciclo de mejora en el aula.

Modelo metodológico posible y secuencia de actividades

Una vez aplicado un primer ciclo de mejora, se pudo observar que el modelo metodológico se había planteado de forma correcta, teniendo en cuenta que debían definirse muy cuidadosamente los tiempos y la secuenciación de las actividades para evitar ser demasiado optimista y no arrastrar la falta de tiempo en la secuencia de actividades. En la Figura 2 puede observarse el modelo metodológico que se ha aplicado y que ha sido diseñado siguiendo los patrones propuestos en R. Porlán (2017). A la izquierda el diagrama de flujo, a la derecha la leyenda para cada uno de los términos empleados.

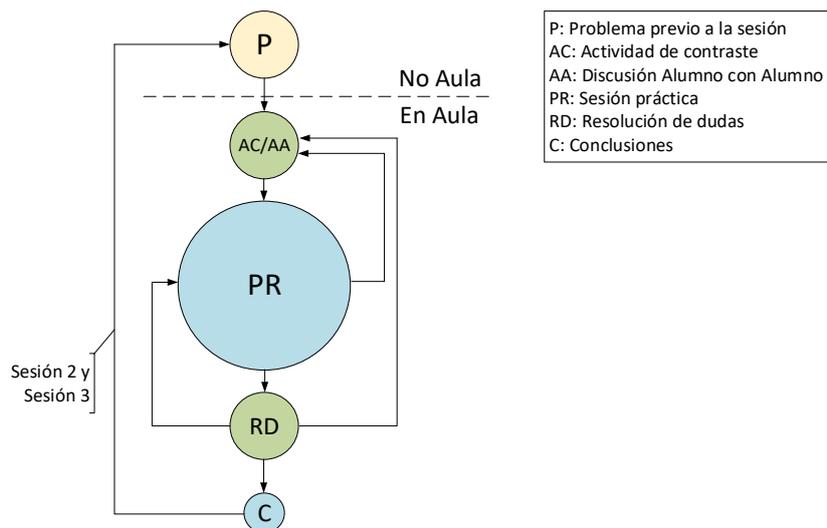


Figura 2. Modelo metodológico aplicado en el ciclo de mejora.

Este modelo consta de dos partes, una primera fuera del aula y una segunda dentro del aula. La primera consiste en la realización de un problema previo para que los alumnos vengan a las sesiones con sus ideas sobre los problemas que se van a tratar en clase. La segunda parte consiste en la realización de la práctica presencial donde se comienza con una discusión entre alumnos sobre el problema previo. A partir de aquí, el flujo entre actividad de contraste, sesión práctica y discusión entre alumnos es completamente cíclico, siempre apoyado por la guía y la resolución de dudas por parte del docente. Por último, se encuentra el bloque de conclusiones donde se plantean dudas, curiosidades y se hace una puesta en común de los resultados. Este mismo método se repite en las diferentes sesiones, de ahí la realimentación al problema previo para las sesiones 2 y 3.

En cuanto a la secuencia de actividades, se ha tratado de seguir un modelo híbrido entre las propuestas planteadas por Bain, K. (2007) y Finkel, D. (2008), donde una parte muy importante a la hora de que los alumnos sientan curiosidad por la materia impartida, y que sean capaces de asimilar de forma correcta el conocimiento que se trata de transmitir, no es centrarse completamente en la disciplina sino en darles un mayor protagonismo en las clases, guiarlos con casos prácticos, plantearles retos que atraiga su atención, hacerles entender que el trabajo en equipo es muy beneficioso y conseguir el compromiso de los estudiantes.

Para ello, el proceso consiste en el planteamiento de preguntas que activen la curiosidad de los alumnos y a partir de ahí, ir trabajando y construyendo un conjunto de actividades organizadas de tal forma que permitan a los alumnos conducir sus ideas hacia una solución deseada. El trabajo en equipo permite a los alumnos expresar sus ideas y buscar soluciones que por sí solos no hubiesen alcanzado y el papel del profesor es el de un guía que los ayudará a encaminar sus ideas, mediante preguntas hacia la solución correcta. En este punto, las preguntas deben ser formuladas de tal forma que lleven a los alumnos a un proceso cíclico donde reformulen sus soluciones e hipótesis y les haga ir constantemente, de inicio a fin, reconstruyendo la solución.

En la Tabla 1 se encuentra la secuencia de actividades. Por simplicidad, se ha recogido en este capítulo las secuencias pertenecientes a las sesiones 1, 2 y 3 del ciclo de mejora aplicado en el aula ya que describe el conjunto de actividades necesarias para que los alumnos

comprendan el proceso de diseño digital de forma general y que luego les permitirá aplicarlo a cualquier circuito.

Tabla 1. Secuencia de actividades seguidas durante el ciclo de mejora.

| Sesión 1, 2 y 3. Diseños propuestos y desarrollo práctico | | | |
|---|-----------------|--|--------------|
| Actividad | Identif. modelo | Nombre actividad | Tiempo (min) |
| 1.1 | PR | Planteamiento de un problema -Estudio Previo de la sesión | 15 |
| <p>Planteamiento de un problema inicial sobre el que se va a desarrollar el estudio previo. Este problema sirve para poner en contexto lo que se va a realizar durante la sesión de prácticas y ayuda a que el alumno investigue o plantee su solución al problema. Se realiza antes de llegar a clase. <i>¿Qué es y cómo funciona un decodificador? ¿Qué es y cómo funciona un contador? ¿Qué es y cómo funciona un computador simple? ¿Qué necesito para diseñarlo? Proponer un posible diseño.</i></p> <p>Este estudio permite a los alumnos aplicar los conceptos teóricos vistos en clase para su resolución, recordar conceptos y orientar al alumno sobre el caso práctico al que se va a enfrentar.</p> | | | |
| 1.2 | AC/AA | Actividad de contraste – Debate alumno con alumno | 10 |
| <p>Puesta en común de las dificultades encontradas a la hora de realizar el estudio previo. Esta actividad abre la posibilidad de tener un pequeño debate acerca de los puntos clave del problema planteado. El docente planteará una actividad de contraste proponiendo una alternativa de diseño que haga que los alumnos tengan que analizar, comparar y concluir, a partir de los sus investigaciones y diseños, si es adecuado el diseño propuesto. <i>¿Es posible realizar cualquier cambio? ¿Por qué? ¿Es recomendable hacer este tipo de cambios? ¿Estos cambios hacen que mi diseño sea más eficiente?</i></p> | | | |
| 1.3 | PR-RD | Práctica experimental - Resolución de dudas y recordatorio de aspectos procedimentales | 15 |
| <p>En caso de que la puesta en común haya llevado a los alumnos a presentar una duda que no se ha podido resolver de forma abierta entre todos, el docente pasará a explicar de forma concisa el concepto para aclararlo. Por otro lado, el docente explicará aspectos procedimentales para recordar a los alumnos ciertas pautas que se deben seguir en el diseño digital puesto que no han utilizado antes la herramienta y es normal que surjan dudas.</p> | | | |
| 1.4 | PR-AC | Práctica experimental – Actividad de contraste | 35 |
| <p>A partir del diseño que han traído los estudiantes y de los posibles cambios que se han planteado en la discusión previa, el docente planteará una modificación que aumentará la complejidad del diseño y llevará a los alumnos a tener que replantear sus diseños y simularlos de nuevo. <i>¿Por qué mi diseño no funciona como esperaba que lo hiciese? ¿Por qué no cumple la funcionalidad deseada si no hay errores? ¿Por qué los componentes ofrecidos en las librerías de la herramienta son más eficientes?</i></p> <p>El docente les orientará para que utilicen el estudio previo y vean que es necesario cumplir una serie de reglas en los diseños, que es necesario saber que tipo de componentes se utilizan y que cada uno de ellos tienen sus propias especificaciones de funcionamiento.</p> | | | |
| 1.5 | PR-AC | Práctica experimental – Actividad de contraste | 25 |
| <p>Tras comprobar que el circuito realiza la función deseada, se pasa a simular el funcionamiento del circuito teniendo en cuenta los retrasos temporales. <i>¿Por qué el circuito ahora presenta</i></p> | | | |

| | | | |
|---|-----------------------------|--|----|
| <p><i>otro comportamiento? ¿Qué hay que hacer para que cumpla la funcionalidad que deseo? ¿Cómo afectan los retrasos temporales a mi diseño? ¿Influye en algo la selección de un tipo de FPGA u otro?</i></p> <p>Los alumnos deberán deducir que en las simulaciones ideales todo funciona si está diseñado correctamente, pero, sin embargo, cuando se utilizan simulaciones temporales hay que consultar las hojas de datos, tener en cuenta el retraso que presenta cada componente y que estos retrasos pueden afectar negativamente a mi diseño.</p> | | | |
| 1.6 | PR – Actividad de contraste | Práctica experimental – Actividad de contraste | 25 |
| <p>Una vez diseñado el circuito y visto que tanto simulación ideal como temporal funcionan de forma correcta, se pasa a la implementación sobre placa de desarrollo. En este punto el docente les facilitará a los estudiantes la hoja de datos de la placa de desarrollo y los guiará para que sean capaces de llevar a cabo la implementación del circuito. <i>¿Existe una única selección de periferia de la placa? ¿Podría utilizar cualquier otra? ¿Es siempre esta selección igual para cualquier placa?</i></p> <p>Los alumnos deben llegar a la conclusión, de forma conjunta, de que en este punto lo que están haciendo es decir donde se encuentra cada switch, led, botón o cualquier otro componente de periferia que va a ayudarles a interactuar con el circuito implementado.</p> | | | |
| 1.8 | C | Conclusiones | 10 |
| <p>Una vez realizada la sesión el docente ofrecerá la oportunidad de poner en común los resultados obtenidos y compararlos de forma general. <i>¿Es el diseño de todos el mismo? ¿Quién ha diseñado el más eficiente? ¿Qué conclusiones se obtienen del trabajo realizado?</i></p> | | | |

Cuestionario inicial-final

Para poder conocer las ideas previas de los alumnos, antes de aplicar el ciclo de mejora, se les ofreció a los alumnos el poder realizar un cuestionario donde se les invitaba a situarse en un contexto donde ellos eran diseñadores digitales y debían ofrecer una solución a una empresa de seguridad que había solicitado su ayuda. Este cuestionario estaba compuesto por cinco preguntas que se recogen en la Tabla 2, donde se trata de abarcar todo el contenido abarcado en este ciclo de mejora.

Tabla 2. Cuestionario inicial – final utilizado antes del ciclo de mejora.

| Cuestionario Inicial – Final sobre el diseño de circuitos digitales |
|---|
| <p>Contexto: Una empresa que se dedica a ofrecer sistemas de comunicaciones seguros quiere renovar los productos que ofrece porque ha detectado que son vulnerables a posibles hackeos. Esta empresa sabe que somos diseñadores digitales y que nos dedicamos al diseño de circuitos de última generación resistentes a ataques y nos ha pedido que diseñemos un nuevo circuito digital para mejorar sus sistemas de comunicación.</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>¿Qué pasos deberíamos seguir para poder diseñar el circuito digital?</i> <i>¿Cómo podrías diseñar el circuito digital?</i> <i>¿Cómo me podrían ayudar las herramientas de simulación de circuitos digitales? ¿Existen diferencias entre las simulaciones ideales y temporales?</i> <i>¿Cómo puedo probar que mi circuito funciona de forma correcta antes de ofrecérselo a la empresa y mandarlo a fabricar?</i> |

Aplicación del CIMA

Resumen de sesiones

A continuación, se describe de forma resumida el desarrollo de las sesiones donde ha sido aplicado el ciclo de mejora:

- *Sesión 1:* Comienzo ofreciendo el turno de debate entre los alumnos para que puedan discutir acerca de los problemas encontrados a la hora de realizar el problema previo. Dado que cada alumno ha presentado su propuesta, en el debate los alumnos plantean dudas y las resuelven entre ellos. Tras estos 15 minutos, y viendo que todos presentan un fallo común de concepto me he tenido que apoyar en el uso de esquemas dibujados en pizarra para hacerles entender que la solución que han propuesto es un absurdo y que es mucho más sencillo de lo que creen. Además, planteo una serie de preguntas para que discutan entre ellos. A estas preguntas los alumnos responden y debaten de forma muy curiosa, puesto que dan soluciones como por ejemplo “*porque hay menos y es más sencillo*” o “*porque el circuito sería más eficiente*”. Para esta actividad se emplearon 15 minutos. A continuación, se plantea la primera actividad de contraste donde se va a trasladar el diseño planteado del estudio previo a la herramienta de diseño y simulación. Los alumnos preguntan abiertamente cómo realizar ciertas operaciones por su desconocimiento de la herramienta, pero rápidamente sus compañeros más aventajados responden y les ayudan. Una vez que han diseñado el circuito, paso a indicarles los pasos que deberían seguir para comprobar que no hay errores. Muchos de ellos se equivocan y necesitan de mi apoyo porque el uso de este tipo de herramientas no es inmediato. Para esta actividad se emplean 40 minutos. Una vez realizado el diseño por parte de todos, pasamos a simular las propuestas. Aquí los alumnos se dan cuenta de forma rápida que la herramienta trabaja de forma automática y que es el diseñador el que le tiene que modificar la simulación para obtener el resultado deseado. Además, entre ellos se ayudan a comprender la secuencia de señales y se explican por qué aparecen los valores y no otros. Algunos obtienen un mal resultado y tienen que volver a atrás y con el apoyo de los compañeros lo corrigen. Dado que se ayudan entre ellos, el tiempo empleado es de unos 25 minutos. En la siguiente actividad los alumnos encuentran la dificultad de no saber realmente que están haciendo porque nunca han visto una placa de desarrollo. Por lo tanto, paso a indicarles que en la hoja de datos de la placa pueden consultar los valores, pero no les digo donde. Algunos alumnos no son capaces de ver la relación entre las señales que han definido en su diseño y la selección de pines de la placa de desarrollo, con lo que tengo que hacerles preguntas para encaminarlos como: *Si quiero resetear mi sistema, ¿cómo podría controlar la señal de reset de mi diseño?* Esto les hace debatir entre ellos la posibilidad de poner variables internas y rápidamente se dan cuenta de que no tiene sentido, la idea es controlarlo desde fuera y para ello tienen diferentes botones y switches. Aquí, se dan cuenta de que indicar dichos botones como sus entradas les permitirá controlar su diseño una vez implementado y que este depende de la placa que se utilice. Tiempo real empleado unos 25 minutos. Por último, los últimos 15 minutos son empleados en la actividad de puesta en común de resultados y planteamiento de diversas preguntas.

- *Sesión 2:* En esta ocasión, la resolución de dudas es realizada en un tiempo mínimo dado que los alumnos ya vienen de su primera experiencia con las herramientas de diseño. Sólo se plantean dudas muy puntuales sobre los componentes a utilizar en la sesión. Tiempo real empleado 10 minutos. En esta actividad se les plantea modificar el diseño propuesto en el problema previo y se les pregunta a los alumnos como podrían obtener el mismo circuito diseñado, pero con el menor número de entradas y salidas posibles. Los alumnos no saben cómo resolver estas cuestiones dado que, a lo largo de las sesiones anteriores, cada entrada/salida se identificaba con una etiqueta diferente y no se les planteó la posibilidad de unificarlas. Para resolverlo, les planteo el uso de hojas de datos y tipos de conexiones para que puedan identificar la relación entre cable y bus de datos. Propongo a diferentes alumnos para que realicen cada uno su parte y luego ver las diferencias entre las propuestas. Tiempo real empleado 55 minutos. Comprendido el concepto anterior, paso a plantearles una nueva actividad. Los alumnos rápidamente se dan cuenta, viendo las características de los componentes, para que sirve cada salida y entrada no utilizada hasta ahora y proponen cambios y posibles mejoras. Hay un alumno que plantea una duda concreta acerca del funcionamiento y rápidamente un compañero la resuelve con ayuda del docente. Tiempo real transcurrido 35 minutos. En esta actividad pretendíamos ver la diferencia entre simulación ideal y temporal y entre un circuito con salidas individuales o con buses de datos. Las preguntas que les voy planteando les hacen debatir entre ellos las diferencias y llegan a percatarse de un error que se comete si no se tiene en cuenta el retraso temporal y es que al llegar al número 9, si se tiene la señal de reset activada, no se puede visualizar el último número si no hay un retraso temporal. Tiempo real empleado unos 35 minutos. Los últimos 15 minutos son empleados de forma interactiva ya que a los alumnos les surge la curiosidad de poder ver si cambiando ciertas cosas de su diseño les permite obtener un resultado diferente. Entre ellos hablan y se proponen hacer ciertos cambios y ver los resultados. Hay algunas dudas dado que la herramienta a veces hace cosas fuera de lo habitual, pero rápidamente entre ellos se proponen soluciones. A partir de aquí, los alumnos pasan a preguntar por aspectos más generales como aplicaciones reales, líneas de trabajo futuro, salidas profesionales y posibilidad de continuar trabajando con este tipo de herramientas.
- *Sesión 3:* En esta sesión me encuentro con la dificultad de que se trata de una sesión muy cercana al periodo de exámenes y los alumnos han desconectado. En esta ocasión, la resolución de dudas se realiza de forma más tediosa dado que los alumnos no saben por qué tienen que hacer el problema, ni lo entienden. Sin embargo, sigue habiendo varios alumnos que han trabajado el problema muy bien. Este contratiempo hace que el tiempo del debate alumno con alumno pase a ser una explicación del problema. Tiempo real empleado 30 minutos. En la siguiente actividad propongo diseñar la funcionalidad de un computador simple. Los alumnos deben de definir las instrucciones que va a realizar el sistema para obtener como resultado una calculadora. Tiempo empleado para esta actividad 55 minutos. Una vez diseñado de forma correcta nuestro sistema pasamos a implementarlo en la placa de desarrollo y a probarlo. Gracias a haber hecho parejas de trabajo en el punto anterior, el resultado es bastante satisfactorio porque los alumnos plantean modificaciones y posibles mejoras al diseño realizado. Tiempo real transcurrido 35 minutos. En la siguiente actividad planteo

una serie de preguntas que les hace debatir y plantear respuestas de lo más diversas, pero con ayuda de mis indicaciones e invitándoles a leer la memoria del problema previo consiguen orientar el problema y llegar a las soluciones. Tiempo empleado 35 minutos. Por último, la actividad de conclusiones y puesta en común se realiza de un modo más tranquilo dado que se trata de la última sesión y los alumnos saben que han aprobado las prácticas. Alguno de ellos plantea la línea futura de realizar el TFG sobre el diseño digital y esto abre un debate acerca de posibles aplicaciones en la industria y la investigación. Tiempo real empleado unos 25 min (parte de este tiempo fuera de clase).

Evaluación del aprendizaje

El cuestionario inicial-final presentado anteriormente (Tabla 2) estaba enfocado no a responder los conceptos teóricos, si no a responder si se había comprendido el proceso de diseño y de testado de un circuito digital (circuito en el que se aplicaban los conceptos vistos en teoría). Dado que la aplicación del ciclo de mejora ha sido realizada de forma voluntaria por parte de los alumnos, se ha contado con una muestra de 12 alumnos. A estos alumnos, se les ofreció la oportunidad de realizar el mismo cuestionario antes y después de las tres sesiones donde se aplicaba el ciclo de mejora. Entre todos ellos, hubo un alumno que decidió participar en los ciclos de mejora, pero no quiso responder a ninguna pregunta, a pesar de ser voluntario.

En las Figuras 3 y 4 se presentan dos de las cinco escaleras obtenidas a partir del análisis de los cuestionarios inicial y final. Para este análisis se han tomado de ejemplo las propuestas de Villarejo Ramos (2020) y Blandón González (2020). Por simplicidad en el texto, se ha omitido presentar las cinco escaleras obtenidas y se han seleccionado dos que representan una evolución media y una evolución claramente positiva, respectivamente. Las Figuras 3 y 4 se corresponden con las escaleras obtenidas para la primera y la tercera pregunta del cuestionario y como puede observarse están compuestas por tres niveles, diferenciados por nivel 0, nivel 1, nivel 2 y un subnivel donde se encuentran las respuestas que no aportan información, como por ejemplo las respuestas en blanco. A la derecha de la escalera puede verse la descripción de cada uno de los niveles en los que se encuentran los alumnos, mientras que, junto a las flechas verdes, pueden observarse los conocimientos necesarios que necesitan alcanzar los alumnos para pasar de un nivel a otro.

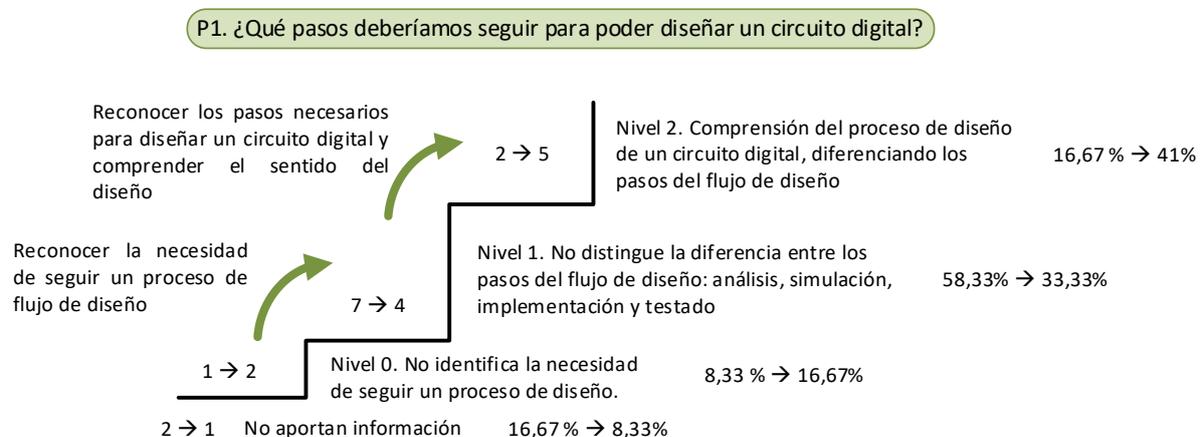


Figura 3. Escalera de aprendizaje para la pregunta 1 obtenida a partir del cuestionario inicial-final.

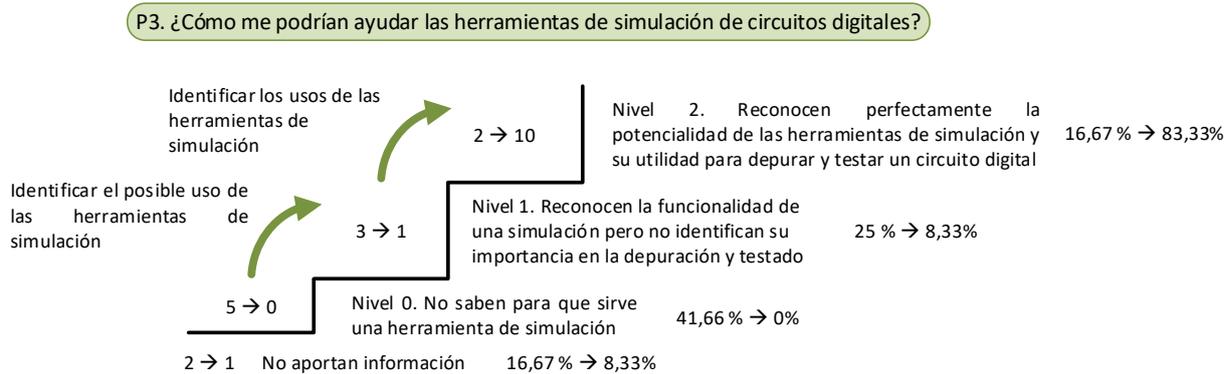


Figura 4. Escalera de aprendizaje para la pregunta 3 obtenida a partir del cuestionario inicial-final.

Como se puede observar en la escalera de la Figura 3, antes de comenzar el ciclo de mejora, el nivel 1 era el predominante en las respuestas de los alumnos. Esto puede ser debido a que nunca habían trabajado con herramientas de diseño, pero de forma lógica eran capaces de reconocer que a la hora de diseñar un circuito digital es necesario seguir un proceso de diseño, sin saber diferenciar entre las diferentes fases del proceso. Al finalizar el ciclo de mejora, se puede observar que hay una evolución moderada de tres alumnos hacia los niveles superiores donde han conseguido alcanzar el objetivo. Por el contrario, si tenemos en cuenta la Figura 4, la tendencia antes del ciclo de mejora era que los alumnos se encontrasen entre los niveles 0 y 1. Estos niveles hacen referencia al desconocimiento de las herramientas de simulación o importancia de su uso a la hora de optimizar y depurar los circuitos de forma respectiva. Tras finalizar el ciclo de mejora, la evolución en este caso es muy positiva, consiguiendo que un 83,33% de los alumnos alcancen el nivel deseado, llegando a reconocer de forma correcta la importancia de las herramientas de simulación y su potencialidad.

Si en lugar de considerar las escaleras de aprendizaje, consideramos la evolución individual por alumno, encontramos los resultados que se presentan en la Tabla 3. En este caso se recogen todos los alumnos y preguntas realizadas en los cuestionarios. Para todas las preguntas hay 4 niveles, exceptuando la pregunta dos, donde hay 5. Estos niveles son: N (No vale o no aporta), nivel 0, nivel 1, nivel 2 y nivel 3. Donde el nivel 0 es el más bajo y el nivel 3 el más alto. Por otro lado, I=Inicial; F=Final; P=Progreso; Flecha verde= aumento de nivel al final del CIMA; Flecha roja= disminución de nivel al final del CIMA; Flecha naranja= mantiene nivel al final del CIMA. Los pesos asignados a cada escalón han sido: $N \rightarrow 0 = 0.5$; $0 \rightarrow 1 = 1.5$; $1 \rightarrow 2 = 2.0$ y $2 \rightarrow 3 = 2.0$. Estos pesos han sido asignados conforme al nivel de dificultad que los alumnos deben superar para poder pasar de un nivel a otro. Lógicamente, superar los niveles inferiores es más sencillo y, por tanto, el peso que se les asigna es menor que el asignado a los niveles superiores.

Como puede observarse de forma general en toda la tabla y de forma particular en la última columna, la tendencia tras aplicar el ciclo de mejora es claramente positiva. Un aspecto a tener en cuenta es que la mayoría de alumnos que mantienen el nivel, como por ejemplo el alumno 6, son aquellos que ya se encontraban en un nivel medio o superior y a los cuales el ciclo de mejora les ha ayudado a afianzar los conocimientos previos. Sin embargo, entre todos los

resultados, existen algunos recogidos que no son coherentes. Por ejemplo, el estudiante 2 dejó en ambos cuestionarios todas las preguntas sin completar. Otro ejemplo es el estudiante 11 que respondió de forma rápida y sin comprometerse con el objetivo del ciclo de mejora, dando como resultado la disminución de puntuación en dos preguntas y el mismo resultado en todas las demás.

Tabla 3. Evolución individual por alumno y preguntas.

| Estudiante | Pregunta 1 | | | Pregunta 2 | | | Pregunta 3 | | | Pregunta 4 | | | Pregunta 5 | | | Prog. Total(%) |
|------------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|----------------|
| | I | F | P(%) | |
| 1 | N | 0 | ↑ 0.5 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | N | 2 | ↑ 4.0 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | ↑ 13.0 |
| 2 | N | N | → 0.0 | → 0.0 |
| 3 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 2 | 2 | → 0.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | ↑ 7.5 |
| 4 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | 1 | 0 | ↓ 1.5 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | 1 | 1 | → 0.0 | ↑ 3.0 |
| 5 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 2 | 2 | → 0.0 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 2 | 1 | ↓ 1.5 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | ↑ 5.5 |
| 6 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 3 | 3 | → 0.0 | 2 | 2 | → 0.0 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | ↑ 9.0 |
| 7 | 2 | 2 | → 0.0 | 1 | 3 | ↑ 4.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 2 | 2 | → 0.0 | ↑ 8.0 |
| 8 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 3 | 3 | → 0.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | ↑ 9.5 |
| 9 | 2 | 1 | ↓ 2.0 | 1 | 2 | ↑ 2.0 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | ↑ 8.5 |
| 10 | 1 | 1 | → 0.0 | 1 | 3 | ↑ 4.0 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | 0 | 1 | ↑ 1.5 | 0 | 0 | → 0.0 | ↑ 9.0 |
| 11 | 1 | 0 | ↓ 1.5 | 2 | 0 | ↓ 2.5 | 2 | 2 | → 0.0 | 1 | 1 | → 0.0 | 0 | 0 | → 0.0 | ↓ 4.0 |
| 12 | 1 | 1 | → 0.0 | 0 | 3 | ↑ 5.5 | 0 | 2 | ↑ 3.5 | N | 0 | ↑ 0.5 | 0 | 0 | → 0.0 | ↑ 9.5 |

Evaluación del CIMA

Tras la aplicación del ciclo de mejora, he podido ver la gran importancia que tiene el obtener un modelo mental de los alumnos acerca de los contenidos que van a ser tratados en las clases. Esto no me lo había planteado anteriormente y me ha abierto una gran cantidad de posibilidades ya que me permitirá en el futuro poder orientar mis clases de una forma u otra en función del nivel de partida. Otro punto muy fuerte, y que considero que debe de estar a partir de ahora en mis clases de forma habitual, es hacer que los alumnos tengan un papel mucho más participativo, así como plantearles retos y presentarles aplicaciones reales y atractivas para captar su atención, motivarlos y sacarlos de una dinámica totalmente pasiva.

En cuanto a los contenidos de enseñanza, he podido ver que es importantísimo que los contenidos estén bien interconectados, donde siempre haya aplicaciones reales para que los alumnos vean su finalidad. Para esto creo que ha sido muy útil el utilizar los mapas de contenidos y el estructurar de forma concisa las preguntas claves y las subpreguntas para poder ayudar a los alumnos a interiorizar los conceptos. El mapa de contenidos constituye un recurso muy útil a la hora de estructurar el contenido, ya que me ha permitido tener una visión en conjunto del objetivo final y balancear de forma correcta los contenidos.

Por otro lado, considero que la introducción de las secuencias de actividades y actividades de debate entre alumnos, me ha dado una visión diferente a la idea que tenía acerca de la docencia. El hacer un análisis de mi propia metodología y el tratar de cambiar a un modelo mucho más participativo por parte del alumno lo considero un punto muy fuerte ya que he podido ver cómo los alumnos se implicaban y se mostraban mucho más activos a la hora de proponer soluciones o de ayudar a sus compañeros. Dar un papel activo al alumno y un papel

más secundario al docente me ha sorprendido de forma positiva en cuanto a la reacción por parte de ellos.

En cuanto a la evaluación, un recurso que nunca había utilizado es el de los cuestionarios inicial y final y me ha parecido un recurso muy útil con el que poder ver la evolución de los alumnos, con vistas a poder mejorar en los años siguientes y conseguir mejores resultados. Las escaleras de aprendizaje también me han resultado un recurso a la vez que útil, muy curioso, porque me ha permitido ver que los alumnos se encontraban en diferentes fases y como aun sin tener conocimientos previos de los contenidos, han podido llegar a los niveles deseados por mi parte. Otro recurso interesante ha sido el uso del diario de sesiones del profesor. Esto es algo que nunca había utilizado y me ha ayudado a poder analizar de forma pausada la evolución de las sesiones, pudiendo añadir comentarios donde he visto que los alumnos tenían mayores dificultades, permitiéndome superar las diferentes dificultades de forma más efectiva en mi segundo ciclo de mejora y pudiendo ver como los alumnos estaban más motivados.

Referencias bibliográficas

- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Blandón González, B. (2020). Diseño de Actividades para el Aprendizaje en la Asignatura de Construcción 2 del Grado en Fundamentos de la Arquitectura. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.). *Ciclos de mejora en el aula año 2019: experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 1024-1052). Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.
- 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 (Coord.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica*, (pp. 127-162). Madrid: Morata.
- Finkel, D. (2008). *Dar clases con la boca cerrada*. Valencia: Publicaciones Universidad de Valencia.
- Porlán Ariza, R. (2017). *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Madrid: Ediciones Morata.
- Villarejo Ramos, A. F. (2020). Descubriendo el valor al cliente en empresas de servicios desde un modelo de aprendizaje basado en problemas. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.). *Ciclos de mejora en el aula año 2019: experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 1678-1704). Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.