

# Aprendizaje Basado en Proyectos en el curso "Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos", debilidades y fortalezas en el contexto impuesto por la enfermedad COVID-19

Jesús M. Hernández-Mangas and Jesús Arias Álvarez *Dpto. Electricidad y Electrónica, Universidad de Valladolid, Valladolid, Spain, jesus.hernandez.mangas@tel.uva.es, jesari@tel.uva.es*

**Title:** Project-Based Learning in "Practical Development of Electronic Systems" course, weaknesses and strengths in the context imposed by the COVID-19 disease

**Resumen**—We present the development planning of the subject "Practical Development of Electronic Systems" using the project-based learning strategy. The planning stages include: project specification; electronic design and schematic capture; the design and manufacture of printed circuit boards; the implementation, simulation and debugging of the firmware; the assembly, verification and characterization of the hardware; and finally the project documentation. All of this describe the main stages of engineering from the first sketch to the final and complete realization of a portable game console. The initial project seeks to make a video game console, compatible with games of a computer from the 80s: the Sinclair ZX Spectrum. Plan B involves the realization of a video game in native mode as a consequence of the difficulty of completing the initial objective in the duration of the subject. Students motivation, obtained with the project-based learning method and the project proposal, is very high. In addition, a SWOT analysis of the adaptation to synchronous telematic teaching is carried out, within the context given by the recent COVID-19 pandemic. As conclusions we want to say that, despite not having been able to carry out the physical and face-to-face development stages of the project included in the initial planning, motivation remained very high, without dropouts, and the project was ended by all.

**Index Terms**—Project-based learning, electronic systems engineering, Microcontrollers. SWOT analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

ESTE artículo es una extensión del artículo titulado *Aprendizaje basado en proyectos en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, Videoconsola portátil* [1] de los mismos autores presentado en el XIV congreso TAEE 2020 (Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica) [2]. En esta extensión se aborda un análisis DAFO [3] (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) del desarrollo de la asignatura que ha tenido que virtualizarse como consecuencia de la enfermedad COVID-19 [4] en el curso 2019-2020.

Manuscrito recibido el 17 de septiembre de 2020; revisado 21 de enero de 2021; aceptado 5 de marzo de 2021. English versión received September, 17-th, 2020. Revised January, 21-th, 2021. Accepted March, 5-th, 2021. Jesús M. Hernández-Mangas, <http://orcid.org/0000-0001-7696-1287>. Jesús Arias Álvarez, <http://orcid.org/0000-0002-0644-7386>.

El análisis DAFO consiste en un análisis interno de la situación de un proyecto o empresa (fortalezas y debilidades) y del análisis del entorno (amenazas y oportunidades). Permite definir una estrategia que potencie los puntos fuertes y minimice los puntos débiles.

En la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación se imparten dos titulaciones relacionadas con las telecomunicaciones, una de tipo general con acceso directo al máster y otra más específica con diferentes especialidades. En esta segunda, Ingeniería de Tecnologías Específicas de la Telecomunicación, tenemos tres especialidades: Sistemas de Telecomunicación, Telemática y Sistemas Electrónicos.

Es en la mención en Sistemas Electrónicos donde se enmarca la asignatura de cuarto curso denominada Ingeniería de Sistemas Electrónicos de carácter obligatorio. En la otra titulación, Ingeniería de Tecnologías de la Telecomunicación, se imparte una asignatura de cuarto curso denominada Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos de carácter opcional. En ambas impartimos el mismo contenido. Las competencias dentro de estas asignaturas son muy amplias [5], [6]

Durante el curso 2019-2020 ha coincidido el desarrollo de la asignatura optativa Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos con el confinamiento debido a la pandemia causada por la enfermedad COVID-19. De los cuatros meses de duración de la asignatura los dos meses y medio últimos hemos desarrollado de forma telemática la docencia de la misma. La asignatura tuvo 13 alumnos que realizaron las prácticas en 5 grupos de 2 o 3 personas.

En estas asignaturas se aplica la estrategia de enseñanza conocida como aprendizaje basado en proyectos (*PBL: Project Based Learning*, [7]) como método docente fundamental. Los estudiantes, ante un proyecto complejo, ven la necesidad de aprender para poder completarlo. La motivación es elevada.

El objetivo de estas asignaturas es la puesta en común de muchos de los conceptos aprendidos en asignaturas anteriores y la enseñanza de una metodología de trabajo en el desarrollo de sistemas electrónicos, así como el aprendizaje de uso de las herramientas CAD (*Computer Aided Design*) necesarias para el mismo. Al mismo tiempo se pretende dar un punto de partida para la estimación de costes y para la planificación temporal, así como conocer todos los condicionantes que

pueden aparecer en el diseño y desarrollo de un sistema electrónico: mecánicos, térmicos, de consumo eléctrico, de compatibilidad electromagnética, etc.

El desarrollo de cualquier sistema electrónico actual tiene dos vertientes: la parte física y tangible (*hardware*) y la parte algorítmica que dota de inteligencia al mismo (*firmware*, *software*). Ambas se deben abordar de manera conjunta dado que la mayoría de las decisiones de diseño en una vertiente pueden afectar a la otra.

El proyecto propuesto consiste en el diseño, desde cero, desde la idea misma, de una videoconsola portátil. Para aumentar la motivación se propone, en el apartado del *software*, la realización de un emulador de un ordenador que tuvo un gran éxito en España y el Reino Unido en la década de los años 1980: el Sinclair ZX Spectrum [8].

Aunque esta decisión parece complicar aún más el proyecto, en realidad, es de una dificultad similar a diseñar un videojuego sencillo (nuestro plan B) y que tiene como ventaja el disponer de miles de videojuegos ya programados y en el dominio público que dotarán a nuestra videoconsola de un mayor atractivo.

La idea inicial de este proyecto surgió de la nostalgia al ver en los kioscos revistas especializadas en *videojuegos retro*. Esta idea inicial se vio reforzada con la aparición en una página de micro-mecenazgo (*crowd-funding*) de un proyecto de videoconsola denominado ZX-Spectrum Vega+ [9] que apareció en 2016 y que recibió una financiación de más de 570.000 euros. Nuestro proyecto no es de la envergadura de este. La idea es hacer lo mínimo indispensable. En la literatura encontramos alguna aproximación a diseñar hardware para videojuegos usando PBL [10] pero ninguna aproximación al problema del diseño completo

El esquema que seguiremos en este artículo es el siguiente:

- II Se analiza la estrategia del aprendizaje basado en proyectos llevado a cabo mediante la docencia presencial en los dos últimos cursos antes de la pandemia.
- III Se analizarán los resultados obtenidos y los problemas encontrados en la docencia presencial.
- IV Se describirá la adaptación a docencia no presencial, aunque telemática y síncrona, debida a la crisis del COVID-19. Se realizará un análisis DAFO de la misma.
- V Por último se abordarán las conclusiones y trabajo futuro.

## II. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Dado que se trata de un proyecto comenzamos haciendo una planificación de las diferentes fases del desarrollo del sistema electrónico propuesto teniendo como condicionantes la fecha de finalización de la asignatura, y las características y componentes microelectrónicos principales -ya decididos por el profesor-. Entre estas fases se encuentran:

- Especificación del proyecto.
- Diseño electrónico y captura esquemática.
- Diseño de la placa de circuito impreso (PCB: *Printed Circuit Board*).
- Fabricación de la PCB.
- Realización del *firmware*: simulación y depuración.

- Montaje, verificación y caracterización del *hardware*.
- Documentación final.

### II-A. Especificación del proyecto

En una primera tormenta de ideas se plantean las características y un diagrama de bloques (figuras 1 y 2) del sistema electrónico a realizar y se permite que el alumnado decida la inclusión de algunas características extra (por ejemplo, que tenga botones como gatillos, que lleve un *joystick* en vez de una cruz de botones, etc). Esto hace más interesante el proyecto si cabe ya que hay que plantear cómo, con la experiencia de los profesores, se resuelven esas nuevas características y los alumnos tienen una implicación mayor al ser idea suya.

Para el proyecto planteado analizamos las características del computador a emular (ZX Spectrum 48 [8]) que dispone de 16 kB de memoria ROM y 48 kB de memoria RAM y de un microprocesador de 8 bits (Zilog Z80) corriendo a 3,5 MHz.

De ahí elegimos el microcontrolador NXP LPC2106 (arquitectura ARM7TDMI, 60 MHz) que tiene 128 kB de memoria Flash y 64 kB de memoria RAM. La idea es que la memoria ROM del ZX Spectrum esté contenida en la memoria no volátil y los 48 kB de memoria RAM del ZX Spectrum estén dentro de los 64 kB de memoria RAM de nuestro micro.

El microcontrolador elegido es simulable con el *software* de captura esquemática, simulación y diseño de PCB: Labcenter Proteus [11]. Otro modelo de microcontrolador con menos memoria (NXP LPC2103, 32 kB Flash, 8 kB RAM) se estudia en una asignatura de segundo curso (Sistemas Electrónicos basados en Microprocesadores). Así, la curva de aprendizaje es rápida. También han contado con otra asignatura de micro-controladores y DSP en tercer curso.

Para la pantalla sabemos que el ordenador a emular dispone de una resolución de 256x192 píxeles y 16 colores. El módulo con pantalla TFT a emplear será de 4,3 pulgadas con una resolución de 480x272 píxeles y 65536 colores, e incluye un controlador del TFT con memoria VRAM suficiente, retro-iluminación, pantalla táctil resistiva y ranura para tarjeta de memoria (donde irán los ficheros de los diferentes videojuegos). Este módulo está disponible en Itead o Aliexpress [12], [13].

Nuestro sistema electrónico debe ser portable, luego debe incorporar una batería recargable a través de un conector USB. La capacidad energética y por ende su tamaño lo decidiremos después de hacer un cálculo de consumo eléctrico, en un caso peor, de todos los componentes electrónicos y de la cantidad de tiempo de juego disponible deseable entre cargas. Para ello hay que consultar toda la documentación disponible.

A partir de aquí se realiza una planificación temporal del proyecto empleando *software* especializado [14], [15] y una asignación de tareas entre los miembros de cada grupo. Inicialmente la estimación temporal es dada por el profesor. El seguimiento lo hace cada grupo para tratar de cumplir la planificación ajustando los tiempos a la realidad.

### II-B. Diseño Electrónico y Captura Esquemática

Estudiando el esquemático del módulo con el TFT elegido y el esquemático de la placa de evaluación del microcontrolador

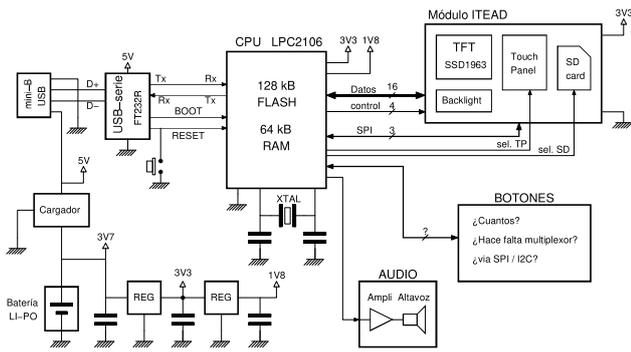


Figura 1. Diagrama de bloques. Versión 1.0. Curso 2017-2018.

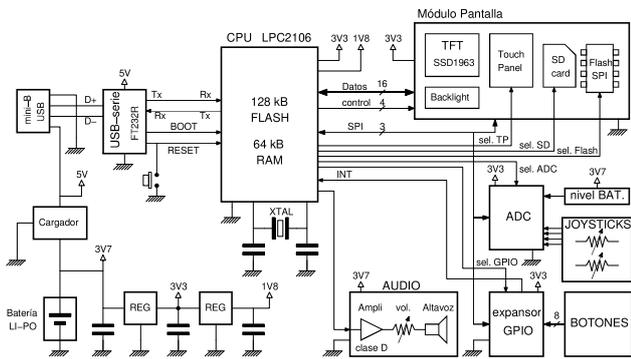


Figura 2. Diagrama de bloques. Versión 2.0. Curso 2018-2019.

empleado en segundo curso, LPC2103, tenemos el punto de partida para eliminar lo que no emplearemos y para añadir lo que nos hace falta.

En esta fase se discuten en clase temas como la monitorización de la carga de la batería (descartada el primer año e implementada el segundo), el número de botones y su disposición, el amplificador de audio, etc. También se hace un estudio del consumo eléctrico estimado y de la duración de la batería elegida (LiPo 3,7 V, 720 mAh, unas 3 horas y media de juego).

También se calcula cuanto se va a calentar cada componente empleando los datos de resistencia térmica de los encapsulados elegidos (algo que después constataremos con una cámara termográfica, ver figura 3) para ver si se necesita algún mecanismo de disipación extraordinario.

Decidimos que todos los grupos empleen las mismas patillas del microcontrolador para las mismas tareas tratando de que el software funcionen en cualquiera de los diseños.

Generan, con la ayuda del CAD, un listado de los materiales empleados y un presupuesto tomando precios de un distribuidor nacional [16]. A esto se añadirán otros costes (caja, recursos materiales inventariables, recursos humanos: ingeniero, operario de montaje, etc.). El listado incluye todas las referencias y enlaces a hojas de datos.

Una vez entregados los borradores de la captura esquemática y del listado de materiales, son verificados por los profesores y se pasa a la siguiente etapa.



Figura 3. Uso de la cámara termográfica. Se observa que las zonas donde se encuentran los reguladores de tensión y el cargador de batería están más templadas.

### II-C. Diseño de la PCB

Se les entrega una plantilla (figuras 4 y 5) para fijar la colocación de algunos componentes críticos dentro del diseño mecánico impuesto por el profesor. Previamente se ha diseñado (figuras 6 y 7) una caja [17], [18] que se fabrica con una impresora 3D [19], [20]. Los botones y ranuras deben coincidir con los componentes en la PCB. Todas las PCBs diseñadas por todos los grupos deberán ir montadas en el mismo diseño mecánico. De esta fase se explica a los alumnos el cómo se ha realizado por si quieren innovar y diseñar su propia caja manteniendo los requerimientos mecánicos.

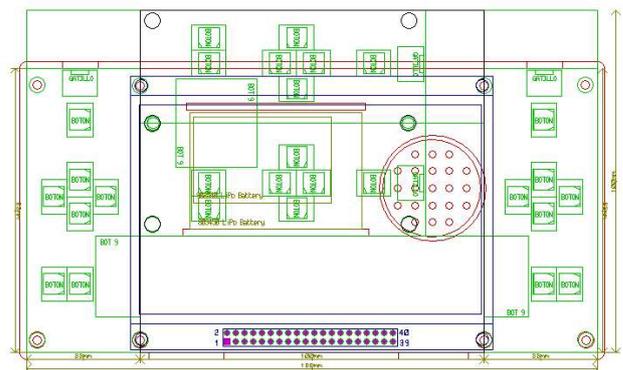


Figura 4. Plantilla de la disposición de algunos componentes. La caja de plástico será la misma para todos los diseños. Versión 1.0.

Se diseñan las huellas de los componentes no presentes en las bibliotecas del software CAD (Labcenter Proteus [11]). También se les indica que pueden obtenerse de repositorios en Internet como SnapEDA [21]. Aquí se hace hincapié en verificar todos los componentes, incluidos los de las bibliote-

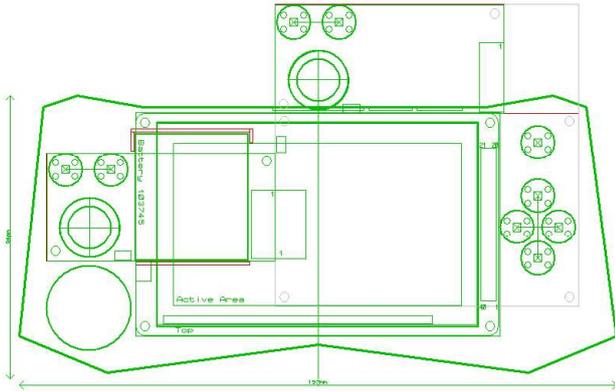


Figura 5. Plantilla de la disposición de algunos componentes. Versión 2.0. La PCB de 100x100 mm será cortada en dos trozos unidos por un conector para cubrir el área de la consola.

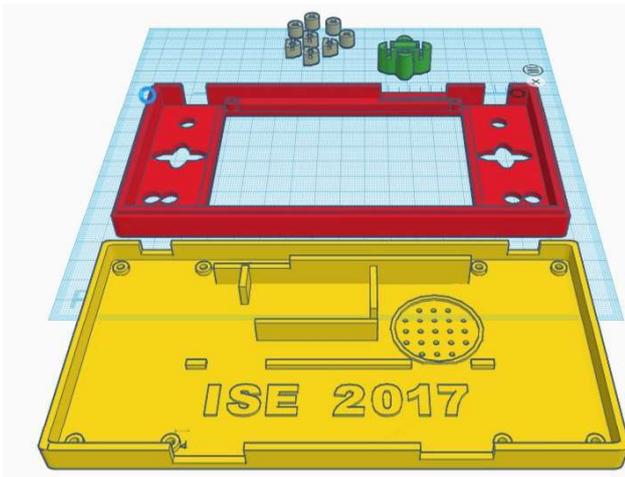


Figura 6. Diseño de la caja. Versión 1.0 realizada con TinkerCAD [17].

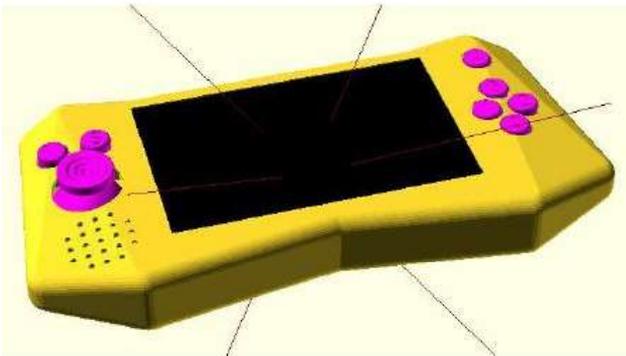


Figura 7. Diseño de la caja. Versión 2.0 realizada con OpenSCAD [18]. En esta ocasión la caja es más ergonómica que la versión anterior.

cas de Proteus o de SnapEDA, para que coincidan los pines de los símbolos de la captura esquemática con los pines de las huellas dibujadas para el diseño de la PCB.

Se sitúan los componentes en la PCB siguiendo la estrategia indicada (conectores en la periferia, componentes fijos en su sitio, el resto siguiendo el esquemático) y se procede al trazado de pistas (algunos de forma manual, y otros de forma automática) teniendo en cuenta si son señales o alimentaciones (decidiendo su anchura). Se añaden planos de masa y zonas de disipación térmica. Se completa añadiendo serigrafía para la identificación de la PCB y para facilitar el montaje y se añaden puntos de test para la depuración del *hardware*. Los alumnos crean logotipos y dibujos para identificar su grupo. Se comprueba que no se violen las reglas de diseño del fabricante y que todas las conexiones estén realizadas.

Finalmente, se generan los ficheros para su fabricación (gerber) y se visualizan. También se explica la generación de vistas 3D y cómo se añaden y obtienen los modelos 3D [22] (figuras 8 y 9). El profesorado verifica los diseños de las PCB antes de enviarlas a su fabricación.

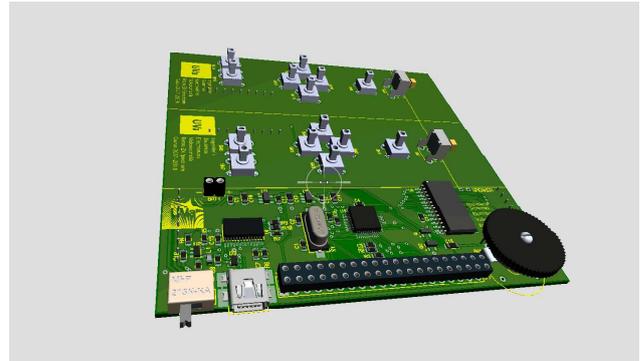


Figura 8. Vista 3D del diseño de la PCB en la versión 1.0.



Figura 9. Vista 3D del diseño 2.0.

#### II-D. Fabricación de la PCB

Encargamos la fabricación de la PCB [12], [23] a través de una empresa local. En este momento se analizan detalles

como las reglas de diseño soportadas por el fabricante elegido y se explican las fases de fabricación de una placa de circuito impreso y cómo acomodamos nuestro *software* CAD a dichas reglas de diseño.

Al cabo de entre una y tres semanas recibimos las PCB. Nuestro diseño está inscrito en un cuadrado de 100 x 100 mm, tiene pistas a dos caras con vías metalizadas y serigrafía en ambas caras. Cada grupo recibe la PCB que ha diseñado, que habrá sido convenientemente personalizada por ellos (logotipos, fotografías). El profesor también recibe la suya (por si hay problemas graves en las de los alumnos).

**II-E. Firmware: simulación y depuración**

Mientras dura la fabricación de la PCB, partiendo del esquema electrónico generamos otro esquema algo más simplificado para facilitar la simulación de los componentes (incluso para la pantalla TFT disponemos de un modelo de simulación). En esta fase comenzamos a estudiar los diferentes bloques del *hardware* desde un punto de vista de la realización del *software* necesario para su control.

Es aquí cuando vemos cómo se pinta en la pantalla TFT y buscamos funciones que permitan dibujar texto, puntos, líneas, etc. Para ello analizamos el datasheet viendo el protocolo digital de comunicaciones y las funciones internas disponibles en el controlador de vídeo. El *software* básico se proporciona y explica.

También estudiamos cómo controlar la pantalla táctil y como calibrarla. Vemos cómo acceder a los botones a través del circuito expander. Analizamos cómo digitalizar las entradas analógicas a través del convertidor ADC. Vemos cómo acceder a la tarjeta de memoria y a su sistema de ficheros de tipo FAT32.

La mayor parte del *firmware* lo obtenemos directamente de Internet o ha sido previamente adaptado por el profesorado: en particular el acceso al controlador del TFT y del panel táctil [24]. Una parte del *software* de control de periféricos lo realizan los alumnos así como el programa principal.

Aquí es, donde con plena libertad cada grupo comienza a desarrollar su propia versión del plan B propuesto que consiste en la realización de un videojuego en modo nativo no emulado. En las primeras versiones se propuso un homenaje al primer videojuego de la historia (*Pong*, Atari, 1972) para un único usuario, tipo frontón, o para dos jugadores (figura 17).

Muchas de estas partes es preferible hacerlas una vez se dispone del *hardware* ya montado dado que la simulación con el CAD es lenta, aunque muy útil a la hora de encontrar los problemas.

La implementación del emulador del ordenador Spectrum (figuras 10 y 11) es un valor añadido proporcionado por el profesor en formato binario. Su complejidad hace inviable que sea resuelto o explicado en clase. El objetivo principal de esa propuesta es el aumento de la motivación del alumnado al saber que están construyendo un sistema que al final tiene una versión del *software* más versátil.

**II-F. Montaje, verificación y caracterización del hardware**

Durante el proceso de montaje trabajando con componentes de montaje superficial (SMD) es necesario el uso de micros-

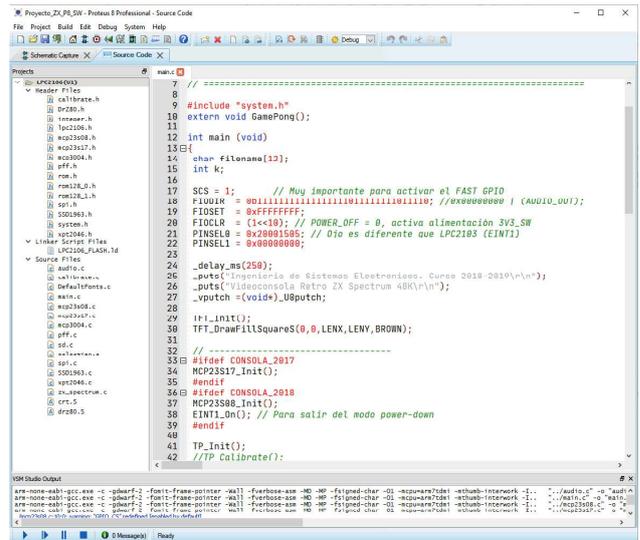


Figura 10. Detalle del *firmware/software* escrito con la herramienta de CAD Proteus.

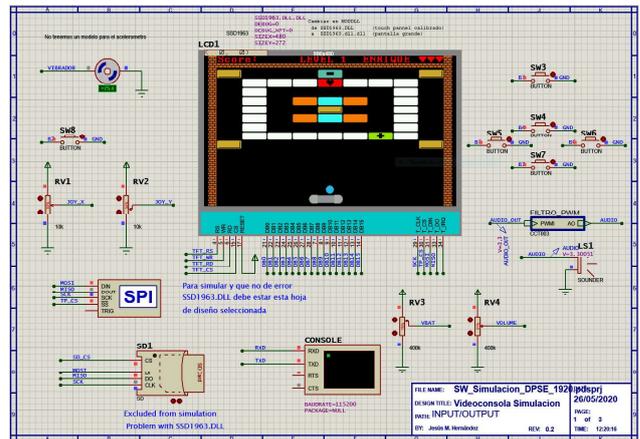


Figura 11. Pantalla con la simulación del *software* con la herramienta de CAD Proteus. Implementación del plan B, *Arkanoid* nativo, en el curso 2019-2020 durante el confinamiento.

copios (figura 12) y soldadores con control de temperatura y puntas finas. Conviene no tomar bebidas estimulantes o energéticas a fin de mantener el pulso en su sitio.

La falta de experiencia hace que surjan problemas de montaje por doquier, pero que con las instrucciones apropiadas y un ejemplo de montaje proyectado en pantalla grande, se van solventando poco a poco. La aparición de problemas retrasa el desarrollo de la asignatura, pero resulta muy didáctico para todos.

Finalmente se procede a la depuración del *hardware* por fases siguiendo el esquemático y los puntos de pruebas diseminados por la PCB. El último punto es el ensamblado final (figuras 13 y 14) de la videoconsola.

También se hace un intento de caracterizar las emisiones electromagnéticas empleando un analizador de espectros y unas sondas de campo cercano eléctrico y magnético. Esto busca complementar una asignatura de Compatibilidad Electromagnética que se imparte en el mismo cuatrimestre.



Figura 12. Uso de microscopio para realizar la soldadura SMD.



Figura 13. Vista del interior de la videoconsola v1.0 una vez terminada.

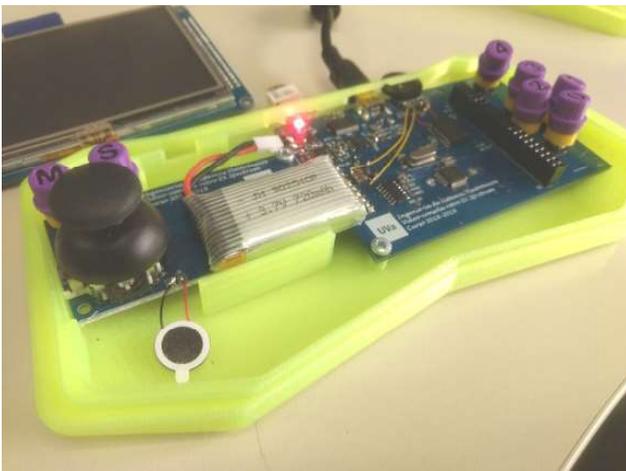


Figura 14. Vista interior de la videoconsola v2.0. Se tuvo que cambiar de módulo TFT ya que el empleado el año anterior se dejó de vender. Encontramos uno compatible en software.

Los alumnos proceden a probar y depurar el *software* creado en el simulador tanto el videojuego planteado (plan B, figura 17) como el *software* emulador del ZX Spectrum (figuras 15 y 16) para su disfrute. Esta fase se lleva una buena parte del tiempo del proyecto.

#### II-G. Documentación final

Para la evaluación de la asignatura se realiza un informe técnico que documente lo realizado -algo imprescindible para el mantenimiento y actualización de los productos comerciales y para poder llevar un control de revisiones-. Se recomienda el uso de la herramienta  $\text{\LaTeX}$  de uso profesional [25] y gratuita aunque no es obligatorio.

En el documento deben aparecer, con suficiente calidad tipográfica y de edición, los esquemáticos generados, los cálculos de consumo eléctrico, las decisiones de diseño, el cálculo térmico, el listado de materiales con todas las referencias y enlaces a la documentación, el presupuesto del mismo y el diseño de la PCB incluyendo todas las caras.

Además debe incluir la planificación original y el diagrama de Gantt con los tiempos reales dedicados.

En el apartado del *firmware/software* deben aparecer las estrategias, organigramas y el código que han escrito en un formato numerado y con sintaxis resaltada. Deben describir las características y manual de uso del programa escrito.

Se pide también un apéndice con los problemas encontrados y su solución, ya sean problemas *hardware* o *software*. Se les recomienda la lectura de Agans [26] para seguir una estrategia de depuración.



Figura 15. Videoconsola v1.0 funcionando con el videojuego *Abu Simbel Profanation* de Dinamic Software, 1985.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

Esta estrategia de enseñanza se ha seguido durante dos años consecutivos -el actual será el tercero- con unos resultados muy satisfactorios. El alumnado ha estado muy motivado a dedicar su tiempo a la resolución del proyecto planteado acudiendo al laboratorio incluso fuera del horario lectivo.



Figura 16. Videoconsola v2.0 funcionando con el videojuego *Knight Lore* de *Ultimate Play the Game*, 1984.

Hemos de decir que no ha habido ningún abandono y que todo el mundo ha superado la asignatura en la convocatoria ordinaria.



Figura 17. Ejemplo de videojuego Pong desarrollado por los alumnos en modo nativo sin emplear el emulador.

El proyecto tiene un carácter agregador de muchos de los conocimientos aprendidos en el resto de las asignaturas del título universitario. Este punto es muy interesante para el alumno por que es capaz de ver la relación en un caso práctico de muchos contenidos vistos con anterioridad. Por ejemplo, ven la utilidad del cálculo matricial para calibrar el panel táctil con respecto a lo visualizado en el TFT.

Desde el punto de vista organizativo hemos de decir que el profesorado ha dedicado mucho tiempo durante el primer año, algo que se ha visto reducido notablemente durante el segundo. El numero de alumnos siempre fue pequeño (10-15) y por tanto gestionable. El coste de los materiales, la mayoría fungible, tiene que ser tenido en cuenta con grupos más grandes. Una alternativa es que los alumnos adquieran algunos componentes (TFT, 25€) y que la videoconsola al final sea para ellos. El coste total está en torno a 65€ sin contar la mano de obra.

Otro problema surge a la hora de reparar PCBs mal diseñadas o componentes mal montados. Esto requiere, después de algunos intentos por parte del alumnado, de la ayuda del profesor, entorpeciendo el desarrollo de la asignatura. Para evitar esto es imprescindible verificar con mucho celo las propuestas de esquemáticos y de PCBs diseñadas antes de mandarlas fabricar.

En el momento de redactar este artículo nos encontramos desarrollando la versión 3.0 de la videoconsola. Se han añadido características como un motor con una masa excéntrica que funcionará como vibrador y un acelerómetro/giroscopio digital que permita el control del videojuego inclinando la videoconsola. Estas, son propuestas del alumnado.

El plan B, en el curso actual, consiste en el desarrollo de un videojuego tipo *Breakout*, (Atari, 1976) o *Arkanoid* (Taito, 1986) donde al romper cada ladrillo vibre la consola y que permita el movimiento de la raqueta inclinando la videoconsola.

A futuro se podría pensar en incluir conectividad inalámbrica (Wifi, Bluetooth, etc.) a la videoconsola para ampliar más el ámbito del proyecto acercándolo de esta manera al internet de las cosas (IoT). Por ejemplo, para descargar los videojuegos directamente de la nube.

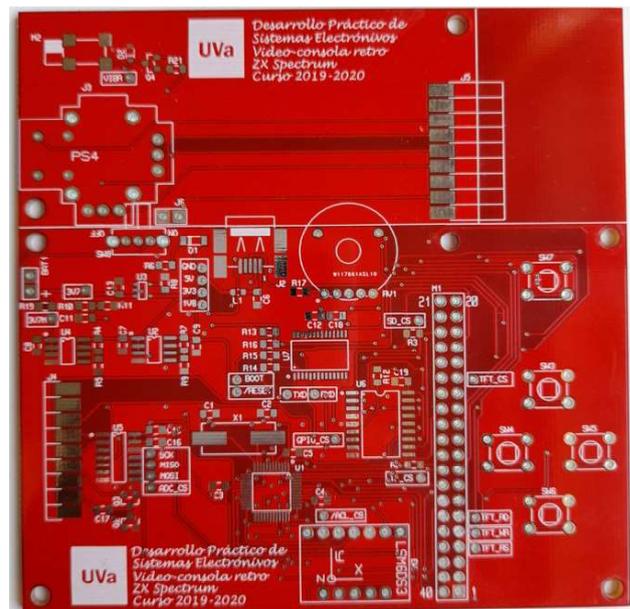


Figura 18. Detalle del layout de la PCB en el curso 2019-2020. Las PCB de los alumnos, una por grupo, no llegaron a fabricarse.

#### IV. ADAPTACIÓN A LA CRISIS DE LA COVID-19

Durante el desarrollo del curso 2019-2020 la pandemia de la COVID-19 nos obligó a un confinamiento estricto de un día para otro. Pasamos de una docencia presencial a una docencia telemática.

La idea principal fue intentar continuar con la asignatura con los mínimos cambios posibles salvo los evidentes.

- Las clases presenciales se convirtieron en clases por videoconferencia. Las sesiones se grabaron con la herramienta Webex [27], y se enlazaron desde la página



Figura 19. Vista interior de la videoconsola v3.0. Incorpora un vibrador -arriba a la izquierda- y un acelerómetro-giroscopio -abajo a la derecha- a mayores.

de la asignatura (plataforma Moodle [28], [29]) para que quien tuviera problemas de conexión (por mala cobertura o falta de ancho de banda) pudiera descargar las clases y verlas más tarde. Es discutible tanto la retransmisión de la imagen del profesor explicando la materia como la imagen de los alumnos cuando preguntan. En nuestro caso hemos preferido mantener la privacidad de cada uno. Una advertencia a la ley de protección de datos se anexó a los vídeos por indicación legal de la universidad.

- Las tutorías se convirtieron en videotutorías grupales o individuales. En este caso nos vimos las caras y las sesiones no se grabaron.
- El uso del laboratorio se virtualizó para permitir el acceso remoto al software licenciado de los ordenadores del laboratorio (compiladores, CAD, etc.).

Durante las sesiones prácticas el sistema de videoconferencia empleado fue Blackboard Collaborate [30], integrado y licenciado en el Campus Virtual, que permite salas de trabajo por grupos, de forma que el profesor hablaba y se compartía contenido solo con los alumnos de un grupo cada vez, siendo avisado cuando otro grupo requería atención.

Lamentablemente el montaje del hardware no pudieron realizarlo. La PCB enviada a fabricar por los profesores sí que fue montada por estos en su casa (ver figuras 18 y 19) y fue puesta a disposición (telemáticamente) de los alumnos para probar en línea el software que escribieron durante la sesiones prácticas.

Grabaciones en vídeo de otros cursos fueron empleadas para explicar el procedimiento de soldadura de los componentes más significativos.

A pesar de ser una asignatura casi totalmente práctica pensamos que hemos logrado completar con éxito la misma. En la figura 20 se ve uno de los resultados realizados por los alumnos con el plan B de este curso.

No obstante este es el análisis que hemos realizado a posteriori de la situación.



Figura 20. Ejemplo de videojuego Arkanoid desarrollado por los alumnos en modo nativo sin emplear el emulador.

## V. ANÁLISIS DAFO

A lo largo del actual año, 2020, han aparecido muchas publicaciones [31]–[35] analizando la experiencia de pasar a una docencia telemática. El análisis es muy parecido al que realizamos a continuación.

En la figura 21 se muestra un resumen del análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que describimos con más detalle a continuación.

Análisis DAFO	
Aspectos internos	Aspectos externos
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
Interés del alumnado	Teletabajo conocer herram.
Experiencia y recursos	Adopción nuevas tecnologías
Respuesta telemática rápida	Videotutorías
Campus virtual (moodle)	Acercamiento al MOOC
Videoconferencia (Webex)	
CAD (Labcenter Proteus)	
Laboratorio virtualizado	
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
Falta materiales	Pandemia y confinamiento
Campus virtual sobrecargado	Sin red o recursos telem.
No presencial (montaje HW)	Trabajo en grupo perjudicado
No disposición HW	Reduccion alumnos a futuro

Figura 21. Análisis DAFO en un diagrama.

### V-A. Fortalezas

Indicamos los aspectos positivos y dependientes de nosotros que presenta el aprendizaje basado en proyectos y su adaptación a la virtualización.

- El interés generado en el alumnado mediante el aprendizaje basado en proyectos ha sido determinante para el desarrollo de la asignatura.
- La experiencia del profesorado y el material didáctico preparado en la asignatura.
- Desde la propia universidad se ha reaccionado con celeridad (una semana después de comenzar el confinamiento)

para dotar, a los alumnos que lo necesitasen, de tarjetas telefónicas con un cierto volumen de datos para permitirles una docencia remota en línea, y de ordenadores portátiles prestados con el mismo objetivo (procedentes de las bibliotecas de la universidad).

- La herramienta centralizada de la universidad basada en Moodle [28], denominada Campus Virtual [29] (ver figura 22), ha permitido la docencia en línea (asignaturas, tareas, videoconferencias, cuestionarios, etc.).
- Las empresas que se dedican a los programas de videoconferencia han aportado su grano de arena al permitir un uso gratuito, sin limitaciones, durante la duración del confinamiento. Nosotros hemos empleado Cisco Webex [27] para sesiones plenarias y Blackboard Collaborate [30], integrada en el Campus Virtual, para las sesiones prácticas en grupos.
- La empresa Labcenter Electronics [11] propietaria del software de simulación Proteus que usamos en el laboratorio nos ofreció, de manera gratuita, un número ilimitado de licencias para que los alumnos emplearan el simulador en sus casas. La licencia, de la última versión, duró hasta finales del mes de julio con el curso concluido.
- Desde la escuela de ingenieros de telecomunicación se virtualizó el uso remoto de los ordenadores de los laboratorios con la misma autenticación que en el Campus Virtual. Esto permitió el uso remoto del software licenciado instalado en los mismos, incluido Proteus.

El alumnado ha agradecido que la virtualización de la docencia haya tratado de mantener los estándares de la comunicación presencial con el profesorado: las clases síncronas [31], [34] hacen que la adaptación sea más simple y menos estresante tanto para los alumnos como para los profesores.

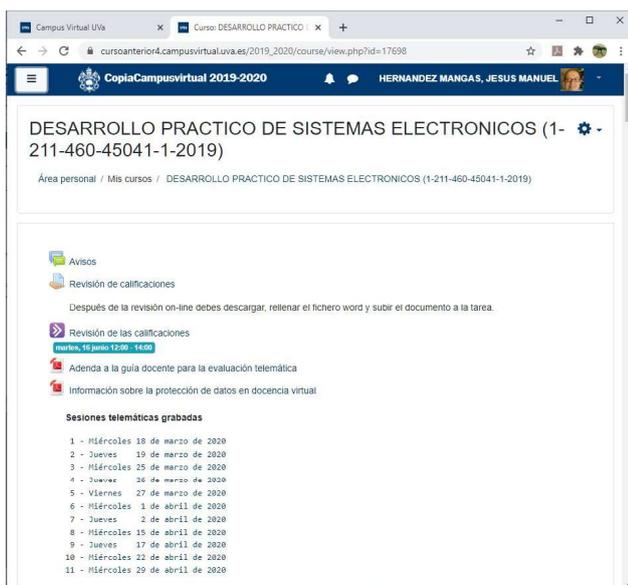


Figura 22. Campus virtual de la universidad de Valladolid, basado en la plataforma Moodle, incluyendo enlaces a las clases grabadas.

### V-B. Debilidades

Presentamos los aspectos que se deben mejorar internamente para lograr un mayor nivel de satisfacción con la asignatura.

- La variabilidad del proyecto planteado con la inclusión de elementos nuevos hace que, en situaciones de confinamiento, la disponibilidad de estos elementos nuevos o viejos se pueda ver afectada por el cierre de las fronteras internacionales.
- La plataforma Moodle (Campus Virtual) se saturó en algunas ocasiones, coincidiendo con los exámenes. Nuestra asignatura se evaluó mediante informe y por tanto no fue un inconveniente.
- No poder realizar físicamente el montaje hardware, así como no poder caracterizar y probar el hardware ha sido la peor debilidad ya que ha hurtado a los alumnos la experiencia.
- No disponer del hardware para probar el software que se escribió. La simulación es más lenta e incompleta.

### V-C. Oportunidades

Aquí analizamos los aspectos externos que nos pueden resultar interesantes de cara a mejorar el desarrollo de la asignatura.

- Aprender a teletrabajar tanto para el profesorado como para los alumnos. La experiencia nos permite conocer las ventajas e inconvenientes del teletrabajo.
- El uso de nuevas tecnologías cuya adopción se retrasaba por falta de tiempo como puede ser la videoconferencia, trabajo remoto, uso intensivo de la plataforma Moodle.
- Las videotutorías fueron más utilizadas por los alumnos que las tutorías presenciales (mismos horarios). Parece que al alumnado le resulta más cómodo.
- La oportunidad, una vez que se saben manejar las herramientas, de implementar cursos MOOC (*Massive Open Online Courses*, Cursos en línea masivos y abiertos) [36] que están siendo solicitados por la universidad como proyectos de innovación educativa.

### V-D. Amenazas

Los aspectos externos negativos que hacen que el desarrollo no se pueda llevar correctamente a cabo.

- La primera es la pandemia por la enfermedad COVID-19 que nos obligó y puede que nos vuelva a obligar a un confinamiento y como consecuencia de eso tener que impartir la docencia de forma telemática.
- La falta de cobertura de las redes de comunicaciones o de la pérdida de las mismas que dificulten la docencia telemática.
- La dificultad para realizar el trabajo en grupo que es una de las competencias transversales que se buscan.
- La reducción del número de alumnos ya que al tratarse de una asignatura optativa eminentemente práctica puede no resultar atractiva al existir la posibilidad en el próximo curso de tener que volver a docencia puramente telemática por razones sanitarias.

Parte de los problemas planteados son de tipo tecnológico [34] y ante eso podemos prever un plan B tecnológico disponiendo, por ejemplo, de varias herramientas para comunicarnos (videoconferencia, mensajería) en caso de saturación, o la posibilidad de grabar las clases síncronas para los que tuvieron problemas de conexión a la red de comunicaciones.

## VI. CONCLUSIONES

Como solemos comentar a nuestros alumnos *cuanta más dificultad tenga un proyecto más cosas se aprenden*, y en el mundo actual con el máximo nivel de competitividad entre profesionales esto es un gran valor añadido. Trabajar en un proyecto más simple no da la misma satisfacción, en nuestra opinión. Hablamos del gusto por los retos y las cosas bien hechas.

Es notoria la cara de incredulidad de los alumnos el primer día de clase al proponerles este trabajo. Igual de notable es la cara de satisfacción de aquellos que logran llegar al final. También lo es la cara de decepción de los que se quedan a un paso por que ha terminado el periodo lectivo.

En definitiva, una experiencia enriquecedora tanto para profesores como para alumnos, que les acerca al mundo laboral y a sus procedimientos de trabajo.

En cuanto a la conversión de la asignatura de presencial a telemática, pensamos que aún queda margen de mejora y que no se puede prescindir de la parte presencial a la hora de montar la parte hardware del proyecto.

El método de aprendizaje basado en proyectos permitió en la modalidad no presencial que los alumnos mantuvieran alta la motivación y que cumplieran con todos los plazos dados sin perder el interés por la asignatura pese a no haber podido realizar ciertas partes de manera presencial (que se suplieron mediante la visualización de videos pre-grabados mostrando dicha experiencia). Esto se ve confirmado en algunas publicaciones [31].

En el caso de una evaluación telemática la mejor opción es un examen interactivo (oral, exposición, etc.)

Con motivo del inicio del nuevo curso 2020-2021 se ha tomado una posición bi-modal para afrontar la docencia de esta asignatura que implica clases presenciales que son retransmitidas en directo y que son grabadas (solamente el audio y lo presentado en el proyector) para su posterior enlace en la plataforma Campus Virtual. Así, en caso necesario (enfermedad o confinamiento obligatorio), se puede asistir telemáticamente. El profesor emplearía un auricular bluetooth para grabar la sesión y escuchar las preguntas remotas.

## REFERENCIAS

- [1] Jesus M. Hernández-Mangas and Jesús Arias-Álvarez. *Aprendizaje basado en proyectos en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, Videoconsola portátil*. Proceedings TAAE2020, ISBN 978-989-54758-3-4, 2020.
- [2] XIV Congreso TAAE2020, Porto, Portugal. <http://www.taee2020.org/index.php>, 2020.
- [3] Wikipedia: Análisis FODA/DAFO. [https://es.wikipedia.org/wiki/análisis\\_foda](https://es.wikipedia.org/wiki/análisis_foda), 2020.
- [4] Organización Mundial de la Salud: Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19). <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>, 2020.
- [5] Interconexión de Sistemas Electrónicos, Guía docente, [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2019/460/45041/1/documento.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2019/460/45041/1/documento.pdf), 2020.
- [6] Desarrollo Práctico de Sistemas Electrónicos, Guía docente, [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2019/512/46649/1/documento.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2019/512/46649/1/documento.pdf), 2020.
- [7] D.R. Woods. *Problem-based learning: how to gain the most from PBL*. McMaster University, 1994.
- [8] Sinclair ZX Spectrum, [https://es.wikipedia.org/wiki/sinclair\\_zx\\_spectrum](https://es.wikipedia.org/wiki/sinclair_zx_spectrum), 2020.
- [9] Indiegogo. Spectrum Vega+. <https://www.indiegogo.com/projects/the-sinclair-zx-spectrum-vega-plus-console-games#/>, 2020.
- [10] M. Perales Esteve, E. López Morillo, F. Muñoz Chavero, F. Barreiro García, and S Toral Marín. Evaluación basada en proyectos en una asignatura troncal de sistemas electrónicos. *Libro de Actas, TAAE 2018*, 2018.
- [11] Labcenter Proteus. PCB design an circuit simulator software <https://www.labcenter.com/>, 2020.
- [12] ITead. On-line service for PCB board design and manufacture <https://www.itead.cc/open-pcb/pcb-prototyping/2layer-green-pcb-10cm-x-10cm-max.html>, 2020.
- [13] Aliexpress. TFT 4.3 inches. <http://es.aliexpress.com/item/32920127970.html>, 2020.
- [14] Gantt project, <https://www.ganttproject.biz/download/free>, 2020.
- [15] Open project, <https://openproj.uptodown.com/windows/descargar>, 2020.
- [16] Farnell España, distribuidor de componentes electrónicos <https://es.farnel.com>, 2020.
- [17] TinkerCAD. Create 3D digital designs with online CAD <http://www.tinkercad.com>, 2020.
- [18] OpenSCAD. The Programmers Solid 3D CAD Modeller <http://www.openscad.org>, 2020.
- [19] Leon3D. Impresoras 3D. <http://www.leon-3d.es/>, 2020.
- [20] Anycubic: 3D printing <http://anycubic.com>, 2020.
- [21] SnapEDA, Free PCB footprints and schematic symbols <https://snapeda.com>, 2020.
- [22] 3D Content Central: Modelos CAD en 3D gratuitos. <https://www.3dcontentcentral.es/>, 2020.
- [23] PCBWay. China PCB Prototype and Fabrication Manufacturer <https://www.pcbway.com>, 2020.
- [24] UTFT Rinky Dink Electronics, <http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=51>, 2020.
- [25] Michel Goossens, Frank Mittelbach, and Alexander Samarin. *The L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Companion*. Addison-Wesley, 1993.
- [26] D.J. Agans. *Debugging: The 9 Indispensable Rules for Finding Even the Most Elusive Software and Hardware Problems*. Amacom, 2002.
- [27] Cisco Webex Meetings. <https://www.webex.com/>, 2020.
- [28] Moodle. <https://moodle.org>, 2020.
- [29] Campus Virtual UVA. <https://campusvirtual.uva.es/>, 2020.
- [30] Blackboard Collaborate. <https://www.blackboard.com/teaching-learning/collaboration-web-conferencing/blackboard-collaborate>, 2020.
- [31] Philipp Novikov. Impact of COVID-19 emergency transition to online learning onto the international students' perceptions of educational process at Russian university. *Journal of Social Studies Education Research*, 11(3):270–302, September 2020.
- [32] Ahmed Elzainy, Abir El Sadik, and Waleed Al Abdulmonem. Experience of e-learning and online assessment during the COVID-19 pandemic at the College of Medicine, Qassim University. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 15(6):456 – 462, 2020.
- [33] Wesley O'Brien, Manolis Adamakis, Niamh O'Brien, Marcos Onofre, Joao Martins, Aspasia Dania, Kyriaki Makopoulou, Frank Herold, Kwok Ng, and Joao Costa. Implications for European Physical Education Teacher Education during the COVID-19 pandemic: a cross-institutional SWOT analysis. *European Journal of Teacher Education*, 43(4):503–522, 2020.
- [34] Shivangi Dhawan. Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(1):5–22, 2020.
- [35] Marcus L. George. Effective Teaching and Examination Strategies for Undergraduate Learning During COVID-19 School Restrictions. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(1):23–48, 2020.
- [36] Wikipedia: MOOC: Massive Open Online Course. [https://es.wikipedia.org/wiki/massive\\_open\\_online\\_course](https://es.wikipedia.org/wiki/massive_open_online_course), 2020.



**Jesús Manuel Hernández-Mangas** recibió los grados de Licenciado en Física e Ingeniero en Electrónica y el Doctorado en Ciencias (físicas) de la Universidad de Valladolid, Valladolid, España, en 1993, 1995, y 2000, respectivamente. Ha trabajado en el Departamento de Electricidad y Electrónica, ESTI de Telecomunicación, Universidad de Valladolid, desde 1994, donde es actualmente Profesor Titular en Electrónica. Ha trabajado en simulación por computador de procesos tecnológicos en semiconductores, en el diseño de circuitos integrados

analógicos y digitales para bajo consumo, bajo voltaje y aplicaciones de alta velocidad. También ha trabajado como consultor de diseños electrónicos en la industria de pantallas y de automoción.



**Jesús Arias Álvarez** recibió el grado de Licenciado en Física y el Doctorado en Ciencias (Físicas) de la Universidad de Valladolid, Valladolid, España, en 1989 and 1995, respectivamente. Desde 1989, ha trabajado en el Departamento de Electricidad y Electrónica, ESTI Telecomunicación, Universidad de Valladolid, donde actualmente es profesor Titular en Electrónica. Ha trabajado en la caracterización eléctrica de materiales y dispositivos semiconductores, incluyendo la simulación de procesos tecnológicos en semiconductores y en el diseño de convertidores

analógico digitales para sistemas de comunicación. También ha trabajado como consultor de diseños electrónicos en la industria de pantallas y de automoción.