

Carlos Sánchez Azqueta

Estrategias Didácticas para la  
Construcción y Desarrollo de  
Modelos de Conocimiento de la  
Electrónica en Educación Superior

Director/es

Aldea Chagoyen, Concepción  
Cascarosa Salillas, María Esther  
Gimeno Gasca, Cecilia

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza  
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606

Tesis Doctoral

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA  
CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DE MODELOS  
DE CONOCIMIENTO DE LA  
ELECTRÓNICA EN EDUCACIÓN SUPERIOR

Autor

Carlos Sánchez Azqueta

Director/es

Aldea Chagoyen, Concepción  
Cascarosa Salillas, María Esther  
Gimeno Gasca, Cecilia

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**  
**Escuela de Doctorado**

Programa de Doctorado en Educación

2022





# Universidad Zaragoza

## **Estrategias Didácticas para la Construcción y Desarrollo de Modelos de Conocimiento de la Electrónica en Educación Superior**

Memoria de la tesis doctoral realizada por

D. Carlos Sánchez Azqueta

bajo la dirección de las doctoras

Dra. Esther Cascarosa Salillas

Dra. Cecilia Gimeno Gasca

Dra. Concepción Aldea Chagoyen

para optar al grado de

Doctor en Educación por la Universidad de Zaragoza



# Agradecimientos

Me gustaría comenzar esta Tesis Doctoral dando mi mayor agradecimiento a mis tres directoras, Concha, Esther y Cecilia. Éste ha sido un proceso que empezó con una serie de trabajos en el campo de la innovación educativa, allá por 2014, y que con el tiempo se ha ido transformando en otro de investigación en Educación, pero que sin duda no habría podido llevarse a cabo sin su continua guía e inestimable consejo.

Me gustaría agradecer a mi grupo de investigación, el Grupo de Diseño Electrónico, y en particular a su Investigador Principal Santiago Celma, por todo el apoyo que me han dado estos años, permitiéndome participar en todas las actividades que han ido dando lugar a esta Tesis Doctoral.

También a mi Tutor, Ángel Cortés, por su ayuda en todo el proceso, y sobre todo en la etapa final con sus revisiones y comentarios sobre el primer borrador de esta Tesis, que tanto la han mejorado.

Por supuesto, a mis padres y hermanos, por animarme siempre a ir un poco más allá y apoyarme incondicionalmente en todo lo que hago.

Me gustaría acabar agradeciendo a Eli su ánimo y paciencia con esta segunda Tesis, y por su confianza y optimismo en todo lo que hago. Y por supuesto a Alejandro, que aunque haya llegado a mitad del proceso de la Tesis lo ha cambiado todo, a mejor, y es el primero y el último que me saca una sonrisa cada día.

Las acciones de intervención que han dado lugar a esta Tesis se han desarrollado con el apoyo institucional de la Universidad de Zaragoza, especialmente a través de sus convocatorias anuales de Proyectos de Innovación Docente para Grupos de Profesores (PIIDUZ). Me gustaría también agradecer a la Cátedra Banco Santander de la Universidad de Zaragoza el apoyo que ha prestado a la realización de esta Tesis en el marco de sus iniciativas para el uso de las TIC en docencia.





# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Contextualización</b>	<b>13</b>
2.1	La enseñanza de la Electrónica en estudios de Grado . . . . .	13
2.1.1	Grado en Física de la Universidad de Zaragoza . . . . .	14
2.2	La enseñanza de la Electrónica en estudios de Máster . . . . .	19
2.2.1	Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>23</b>
3.1	Introducción y cuestiones de investigación . . . . .	23
3.2	Marco teórico de la investigación: Didáctica de las Ciencias Experimentales . . . . .	23
3.2.1	Modelos y su uso en la enseñanza de las Ciencias . . . . .	24
3.2.2	Modelización como herramienta en la enseñanza de Física en educación universitaria . . . . .	27
3.3	Metodología . . . . .	36
3.3.1	Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como instrumento en la enseñanza de la Electrónica basada en modelización . . . . .	36
3.3.2	Diseño y uso de recursos TIC para la enseñanza basada en modelos en Electrónica en Educación Superior . . . . .	37
3.3.3	Evaluación de los modelos mentales de los alumnos tras el uso de los recursos . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Estrategias didácticas para la construcción de modelos de conocimiento en Electrónica</b>	<b>55</b>
4.1	Proceso de aprendizaje por competencias . . . . .	56
4.2	Metodologías docentes . . . . .	58
4.2.1	Lección magistral . . . . .	61
4.2.2	Enseñanza práctica y de laboratorio . . . . .	63

4.2.3	Aprendizaje basado en proyectos (ABP y estudio de caso)	65
4.2.4	<i>e-learning</i> y <i>m-learning</i>	66
4.2.5	<i>Flipped classroom</i>	67
4.2.6	<i>WebQuest</i>	69
4.2.7	Tutoría 2.0	71
4.3	Recursos docentes/herramientas didácticas	72
4.3.1	Seminarios o <i>webinars</i>	73
4.3.2	Dispositivos inteligentes	74
4.3.3	Simulación por ordenador y aplicaciones interactivas ( <i>applets</i> )	76
4.3.4	Realidad aumentada (códigos QR)	78
4.3.5	Apuntes enriquecidos e <i>e-book</i>	79
4.3.6	Videotutorial o <i>vodcast</i>	80
<b>5</b>	<b>Intervención en el aula</b>	<b>83</b>
5.1	Aplicación al estudio del transistor	83
5.1.1	Descripción	84
5.1.2	Contexto	84
5.1.3	Recursos diseñados	85
5.1.4	Resultados	89
5.2	Aplicación a las sesiones de laboratorio	92
5.2.1	Descripción	92
5.2.2	Contexto	93
5.2.3	Recursos diseñados	94
5.2.4	Resultados	96
5.3	Aplicación al estudio de los sistemas caóticos	100
5.3.1	Descripción	100
5.3.2	Contexto	101
5.3.3	Recursos diseñados	102
5.3.4	Resultados	105
5.4	Aplicación al aprendizaje de los MEMS	107
5.4.1	Descripción	108
5.4.2	Contexto	108
5.4.3	Recursos diseñados	109
5.4.4	Resultados	114
5.5	Aplicación a temas generales de Electrónica	114
5.5.1	Descripción	115
5.5.2	Contexto	115
5.5.3	Recursos diseñados	116
5.5.4	Resultados	117

5.6	Resultados obtenidos de la intervención en el aula en la secuenciación de actividades planificada . . . . .	119
5.7	Construcción de un entorno general configurable (ELIGE) . . . . .	119
5.7.1	Descripción . . . . .	120
5.7.2	Contexto . . . . .	122
5.7.3	Recursos diseñados . . . . .	122
5.7.4	Resultados . . . . .	124
5.8	Aplicación a la acción tutorial . . . . .	126
5.8.1	Descripción . . . . .	126
5.8.2	Contexto . . . . .	127
5.8.3	Recursos . . . . .	127
5.8.4	Resultados . . . . .	130
<b>6</b>	<b>Intervención en la Université Catholique de Louvain, Bélgica</b>	<b>141</b>
6.1	Contextualización . . . . .	141
6.2	Intervención en el aula . . . . .	142
6.2.1	Descripción . . . . .	143
6.2.2	Contexto . . . . .	143
6.2.3	Recursos diseñados . . . . .	144
6.2.4	Resultados . . . . .	146
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>149</b>
	<b>Referencias</b>	<b>153</b>
<b>A</b>	<b>PUBLICACIONES</b>	<b>165</b>
A.1	Publicaciones en revista . . . . .	165
A.2	Publicaciones en conferencias internacionales . . . . .	165
A.3	Publicaciones en conferencias nacionales . . . . .	167
<b>B</b>	<b>PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS</b>	<b>171</b>
B.1	Proyecto de Tesis Doctoral . . . . .	171
B.2	Proyectos de Innovación Docente . . . . .	171



# Lista de Figuras

3.1	Mejoras cognitivas identificadas en los trabajos analizados. . . . .	30
3.2	Esquema ilustrativo de cómo el uso de recursos educativos específicos pueden contribuir a la construcción y el desarrollo de modelos mentales de conocimiento. . . . .	39
3.3	Pirámide de Miller. Describe cuatro niveles en los que se produce la adquisición de competencias, en orden de elaboración, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje . . . . .	44
3.4	Cuestionario desarrollado. . . . .	47
3.5	Test elaborado para evaluar la calidad del software según el estándar ISO 9126. . . . .	51
3.6	Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos. . . . .	53
4.1	Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes. A la izquierda se muestran las variables enseñanza centrada en el docente/alumno y grado tecnológico de la docencia y a la derecha las variables de implicación del alumno, en cuanto su actitud y relación con el entorno. . . . .	59
4.2	Cuadrantes descriptivos de la lección magistral como metodología docente. . . . .	61
4.3	Cuadrantes descriptivos de las enseñanzas prácticas y de laboratorio. . . . .	63
4.4	Desglose de los componentes competenciales del método científico. . . . .	64
4.5	Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes basadas en proyectos. . . . .	65
4.6	Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes que usan TACs para producir <i>e-learning</i> y <i>m-learning</i> . . . . .	67
4.7	Cuadrantes descriptivos de la metodología docente de tipo <i>flipped</i> . . . . .	68
4.8	Etapas de una metodología <i>flipped</i> . Adaptado de Sánchez Rodríguez y col. (2017). . . . .	68
4.9	Cuadrantes descriptivos de la metodología <i>WebQuest</i> . . . . .	70
4.10	Cuadrantes descriptivos de la acción tutorial como metodología docente. . . . .	72

4.11	Diagrama de flujo ( <i>event flow</i> ) para la realización de un <i>webinar</i> en educación. . . . .	74
4.12	Modelo de evaluación del éxito del <i>e-learning</i> propuesto por Holsapple y Lee-Post (2006). . . . .	76
4.13	Situación de las simulaciones por ordenador y <i>applets</i> en el Continuo de Milgram. . . . .	77
4.14	Situación de las aplicaciones de realidad aumentada en el Continuo de Milgram. . . . .	78
4.15	Taxonomía de los materiales multimedia usados en educación. . . . .	80
4.16	Tipos de vídeo usados en educación según Hansch y col. (2015). . . . .	82
5.1	Diagrama ilustrativo de la funcionalidad de los apuntes enriquecidos diseñados: El hilo argumental en texto se va intercalando con recursos multimedia en diversos formatos para ilustrar, clarificar o evaluar. . . . .	86
5.2	Capturas de pantalla de los contenidos de los apuntes enriquecidos para el tema del transistor MOS. . . . .	86
5.3	Capturas de pantalla de las actividades de evaluación incluidas en los apuntes enriquecidos para el tema del transistor MOS. . . . .	87
5.4	<i>Applet</i> que muestra los niveles energéticos (bandas) en un semiconductor dopado y su dependencia con el tipo de dopante, concentración y temperatura. . . . .	88
5.5	<i>Applet</i> que muestra el proceso de implantación iónica y la dependencia del perfil de dopado con el tipo de sustrato y de dopante, la energía de incidencia y la temperatura. También muestra el proceso de recocido o <i>drive-in</i> para homogeneizar el perfil de la región dopada. . . . .	89
5.6	Resultados obtenidos para la parte de transporte de electrones en semiconductores (izquierda), modelos incrementales del transistor MOS para pequeña señal y el análisis del comportamiento de configuraciones amplificadoras monoetapa con transistores MOS. Estas gráficas presentan una comparativa con un curso en el que estos recursos no estaban disponibles. . . . .	90
5.7	Código QR de Tipo 1. . . . .	94
5.8	Código QR de Tipo 2. . . . .	95
5.9	Código QR de Tipo 3. . . . .	96
5.10	Rúbrica diseñada para la evaluación de la adquisición de competencias en el laboratorio. . . . .	97
5.11	Calificaciones obtenidas por los alumnos en la asignatura Técnicas Físicas I durante los cursos 2017/18 a 2020/21. . . . .	98

5.12	Resultados obtenidos de la encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes del curso Técnicas Físicas III en relación a la utilización de los recursos multimedia implementados y su accesibilidad mediante códigos QR. . . . .	99
5.13	Imágenes de la <i>WebQuest</i> desarrollada para la realización de la actividad teórico-práctica de estudio de sistemas caóticos. En la imagen superior se observa la página principal de la <i>WebQuest</i> , y en la inferior una captura de la sección de <i>proceso</i> , que describe los pasos que deben seguir los alumnos en el laboratorio. . . . .	103
5.14	Rúbrica diseñada para la evaluación de la actividad de estudio de sistemas caóticos, realizada siguiendo la metodología de la <i>WebQuest</i> . .	105
5.15	Resultados experimentales obtenidos por los alumnos a partir de sus montajes de laboratorio. Se puede apreciar la existencia de caos y además (imagen inferior) la existencia de sincronización entre dos montajes realizados de forma independiente por dos grupos distintos. .	106
5.16	Calificaciones obtenidas por los estudiantes de Técnicas Físicas III en las sesiones laboratorio dedicadas al estudio del caos. . . . .	107
5.17	Etapas del proceso de diseño y simulación de un sistema MEMS (un cantilever) utilizando los programas Elmer y Salome. . . . .	110
5.18	Imagen del montaje en el laboratorio que permite realizar la caracterización experimental del acelerómetro comercial, con detalle de la placa sobre la que va montaje el chip integrado ADXL 335 (superior) y de su representación esquemática (inferior), con detalle de la correspondencia entre elementos. . . . .	111
5.19	Imagen ilustrativa de la Wiki dedicada a los sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS). . . . .	112
5.20	Cálculos realizados por los alumnos para caracterizar el acelerómetro comercial y averiguar su posición dentro del Wiimote. . . . .	113
5.21	Carteles anunciadores de algunos de los <i>webinars</i> desarrollados. . . .	116
5.22	Resultados de la encuesta de satisfacción llevada a cabo en la asignatura Micro y Nano Sistemas durante el curso 2016-17 acerca de la inclusión de <i>webinars</i> entre las actividades docentes. . . . .	118
5.23	Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos con los resultados obtenidos. . . .	120
5.24	Esquema del funcionamiento del entorno virtual de aprendizaje desarrollado (ELIGE), en el que se muestran dos posibles opciones de configuración por parte de los alumnos. . . . .	121

5.25	Imagen de la página de Moodle de acceso al entorno de aprendizaje virtual ELIGE. . . . .	123
5.26	Dos ejemplos de itinerarios con los bloques temáticos implicados y los recursos utilizados para que los alumnos puedan configurar su portafolio.	123
5.27	Resultados de la encuesta de satisfacción sobre el entorno de aprendizaje virtual ELIGE pasada a los alumnos de la asignatura Electrónica Física durante el curso 2018-19. . . . .	125
5.28	Porcentaje de asignaturas aprobadas con las que los alumnos accedieron a la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19. . . .	130
5.29	Disponibilidad de los alumnos de la asignatura Técnicas Físicas I para asistir a las distintas actividades programadas en el curso 2018-19. . . .	130
5.30	Asistencia (izquierda) y tiempo de dedicación (derecha) de los alumnos a la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19. . . . .	131
5.31	En relación con la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19: percepción de la asignatura (superior izquierda); percepción de su dificultad (superior derecha); claridad en los objetivos (centro izquierda); utilidad de la formación recibida (centro derecha); novedad de los contenidos (inferior izquierda); utilidad en la vida laboral (inferior derecha) . . . . .	132
5.32	Percepción de los alumnos sobre el ajuste entre el programa previsto y su desarrollo (izquierda) y el grado de redundancia con otras asignaturas (derecha) de la asignatura Técnicas Físicas I. . . . .	132
5.33	Percepción de los alumnos en lo referente a la estructuración de los contenidos (superior), la distribución temporal (inferior izquierda) y la carga de trabajo (inferior derecha) de la asignatura Técnicas Físicas I.	133
5.34	Percepción acerca del nivel de los contenidos (superior izquierda); de si el nivel se ajustaba al contenido (superior derecha); de si las explicaciones de los profesores eran suficientes (inferior izquierda); y de si las sesiones de resolución de problemas eran de ayuda (inferior derecha). . . . .	134
5.35	Percepción acerca de la dificultad percibida por los alumnos acerca de la dificultad de la asignatura Técnicas Físicas I (gráfica superior). Percepción de los alumnos acerca de su capacidad de interpretar una función de transferencia (gráfica inferior izquierda) y un diagrama asintótico de Bode (gráfica inferior derecha). . . . .	135
5.36	Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de identificar un sistema en régimen sinusoidal permanente (izquierda) y de determinar los límites asintóticos de una función de transferencia (derecha). . . .	136



5.37	Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de localizar en el plano $s$ los polos de una función de transferencia. . . . .	137
5.38	Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de representar el comportamiento en magnitud y fase de $H(s)$ en su diagrama asintótico de Bode en el caso de que los polos y ceros estuviesen en el origen (izquierda) o fuesen simples (derecha). . . . .	138
5.39	Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de obtener, en el rango de frecuencias medias, el valor del módulo de una función de transferencia con un cero en el origen y dos polos simples reales y negativos alejados entre sí. . . . .	138
5.40	Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de obtener la fase a partir de términos de fase no mínima. . . . .	138
5.41	Captura de pantalla del vídeo-tutorial realizado para explicar el concepto de frecuencia de corte de un sistema dinámico. . . . .	140
6.1	Imágenes de las actividad de competición por grupos realizada tras las actividades en formato <i>flipped classroom</i> . . . . .	146
6.2	Notas obtenidas en el curso el año de implantación de la metodología <i>flipped</i> y en el curso anterior. . . . .	147
6.3	Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la Université Catholique de Louvain en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos con los resultados obtenidos. . . . .	148



## Lista de Tablas

2.1	Distribución por módulos de las asignaturas del Grado de Física de la Universidad de Zaragoza. . . . .	18
2.2	Distribución por cursos de las asignaturas del Grado de Física de la Universidad de Zaragoza. . . . .	19
2.3	Distribución de las asignaturas del Máster en Física y Tencologías Físicas de la Universidad de Zaragoza. . . . .	21
3.1	Autores y año de publicación de artículos que analizan estrategias didácticas y modelización en distintos niveles educativos. . . . .	28
3.2	Estrategias educativas analizadas de acuerdo al autor que las trabaja. .	31



# Introducción

La presente Tesis Doctoral surge en el marco del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza y en concreto dentro de su Área de Electrónica, a la que pertenecen el doctorando y las directoras Dra. Concepción Aldea y Dra. Cecilia Gimeno.

El Área de Electrónica del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza tiene su sede en la Facultad de Ciencias y su encargo docente se produce de forma exclusiva en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, repartido entre el Grado en Física y el Máster en Física y Tecnologías Físicas.

En este sentido, es ilustrativo destacar que el Área de Electrónica es una de las pocas áreas de conocimiento con docencia asignada en la Sección de Físicas perteneciente a un Departamento con una docencia asignada mayoritariamente a otro Centro (la Escuela de Ingeniería y Arquitectura).

En este contexto, por tanto, la labor docente del Área de Electrónica presenta dos particularidades esenciales:

- La docencia del Área de Electrónica se produce en Centro ajeno al del resto de las Áreas del Departamento, que tienen su docencia asignada en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.
- El carácter científico de las titulaciones en las que el Área de Electrónica tiene asignada su docencia hace que se deban perseguir objetivos de aprendizaje diferentes a los del resto de áreas del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza.

La combinación de estos dos factores ha conferido históricamente al docente de Área de Electrónica de una transversalidad que ha condicionado el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas impartidas, que deben combinar el enfoque práctico y aplicado propios de la Ingeniería con el carácter de formación básica científica propio de los estudios de Grado y Máster en Física.

Por otro lado, el perfil académico y profesional del doctorando también ha influido en la motivación y desarrollo de la presente Tesis Doctoral. Se licenció en Física en el

año 2006 por la Universidad de Zaragoza y en el año 2009 en Ingeniería Electrónica por la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad Tecnológica de Helsinki (HUT-TKK), aunando de esta manera en su formación el carácter transversal del Área de Electrónica.

Se incorporó al Área de Electrónica mediante su participación en contratos de investigación en 2009, doctorándose en Física/Electrónica en 2012. Durante esos años y los siguientes, además de realizar una labor investigadora en el ámbito del diseño de circuitos integrados, se fue integrando en tareas de apoyo a la labor docente. Este proceso, unido a la continuación de su trayectoria profesional hacia la investigación y docencia universitaria con una posición de profesor, hicieron necesaria su formación en metodologías docentes.

La unión de ambos factores: el carácter transversal del Área de Electrónica a la que pertenecen el doctorando y dos de las directoras de la presente Tesis Doctoral, y la propia trayectoria académica y profesional del doctorando y su interés en adquirir conocimientos y profundizar en el ámbito de la didáctica y las metodologías docentes, hicieron que surgiese la pregunta de si existía un interés de investigación y de aplicación en el uso de metodologías docentes específicas para la Didáctica de las Ciencias Experimentales, y en particular en Educación Superior.

La revisión del estado del arte permitió concluir que, pese a que sí que existen estudios e iniciativas de metodologías específicas para la Didáctica de las Ciencias Experimentales en otros niveles educativos como la Educación Infantil, Primaria y Secundaria, existen muy pocas realizaciones de estrategias a nivel de Educación Superior. De alguna forma, parece que la docencia universitaria queda exenta de contemplar y asimilar los avances alcanzados en la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales en niveles educativos previos.

El trabajo que fueron desarrollando el doctorando y las Dras. Aldea y Gimeno se inició en el ámbito de la innovación en educación mediante el diseño y la implementación de estrategias docentes basadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). En ese contexto, el equipo comenzó realizando una difusión de resultados en foros locales, vinculados a la Universidad de Zaragoza, especialmente las Jornadas de Innovación Docente e Investigación Educativa organizadas por el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Zaragoza.

Desde este punto de partida, y a la vista de que el ámbito de aplicación de los recursos diseñados tenía un carácter global y multidisciplinar, se decidió comenzar su difusión en foros de discusión internacionales, entre los que destacan el congreso

internacional ICERI 2014 y, sobre todo, el congreso internacional TAAE 2014, al que acudió el doctorando como ponente de los trabajos, como punto de partida de la internacionalización de los trabajos llevados a cabo.

El siguiente paso natural fue la publicación de resultados en una revista indexada en el ranking JCR. La revista elegida fue el IEEE Transactions of Education, situada en el cuartil Q2 de su categoría en Educación, y editada por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que es la mayor organización de carácter profesional a nivel mundial y cuya misión es el avance de la Tecnología, la Electricidad y la Electrónica.

La publicación del artículo *Using the Wiimote to learn MEMS in a degree in Physics* supuso un punto de inflexión en la trayectoria del equipo formado por el doctorando y las Dras. Aldea y Gimeno, ya que se vio, por un lado, que era necesario dar un enfoque más profundo a las tareas que estaban realizando de diseño y aplicación de estrategias educativas específicas para la enseñanza de la Electrónica, planteándose una orientación de carácter más investigador que abarcara el estudio del estado del arte, el planteamiento de objetivos y la evaluación de los resultados obtenidos. Para continuar con esta línea de trabajo se consideró imprescindible contar con la ayuda de un investigador con formación y experiencia en el ámbito de la Educación.

De esta manera, se incorporó al equipo la Dra. Esther Cascarosa, profesora del Departamento de Didácticas Específicas de la Universidad de Zaragoza, e investigadora en el campo del pensamiento sistémico y los modelos mentales de conocimiento. Su conocimiento y experiencia en el ámbito de la investigación educativa permitió cumplir el objetivo de dar profundidad y propósito a la investigación realizada, a la vez que se la dotaba de un mayor rigor en lo referente a los métodos de evaluación utilizados, tan diferentes de los usados por el doctorando y las Dras. Aldea y Gimeno en sus trabajos de carácter técnico.

En este contexto y con esta evolución desde la propuesta de estrategias de innovación educativa hasta la realización de labores de investigación en Educación, se llegó a un punto en el que se decidió reunir todas las acciones desarrolladas y su evaluación en un documento de mayor entidad. Es así como nace la presente Tesis Doctoral, cuyo objetivo que ha sido documentar y analizar el diseño y validación de diversas estrategias didácticas con el objetivo de trabajar la construcción dirigida de modelos en la enseñanza de la Física universitaria.

En concreto, se analiza cómo el diseño y desarrollo de estrategias didácticas ayuda a la construcción del modelo de semiconductor en estudiantes de Física en Educación

Superior, y donde las metodologías de enseñanza utilizadas están basadas en las Tecnologías de la Formación y la Comunicación (TIC). Eso ha implicado una tarea de identificación de como la didáctica de las ciencias puede ayudar a la construcción de modelo de semiconductor en los alumnos, así como la necesidad de investigar sobre si el diseño e implementación de estrategias didácticas concretas ayudan a la constatación de un modelo de conocimiento sólido de semiconductor. También ha supuesto una evaluación de los diferentes tipos de estrategias que podrían ser adecuadas en el contexto de aplicación de esta Tesis Doctoral y una secuenciación de las elegidas encaminada a su aplicación en el aula.

La presente Tesis Doctoral está estructurada de la siguiente manera:

- En el Capítulo 1 se realiza una introducción sobre la motivación, trayectoria y objetivos de la Tesis Doctoral.
- En el Capítulo 2 se contextualiza el trabajo desarrollado, describiendo el marco en el que se han realizado las intervenciones en el aula.
- En el Capítulo 3 se expone el marco teórico que justifica la presente Tesis Doctoral y se presentan las cuestiones de investigación.
- En el Capítulo 4 se describen diversas estrategias educativas, incidiendo en su aplicación y beneficios para construir metodologías docentes encaminadas al desarrollo de modelos mentales de conocimiento, en el marco de la enseñanza de los Semiconductores y la Electrónica en Educación Superior.
- En el Capítulo 5 se revisan las aplicaciones de dichas estrategias que se han realizado durante la realización de la presente Tesis Doctoral, detallando tanto el contexto como los elementos utilizados para su realización, e indicando los principales resultados encontrados.
- En el Capítulo 6 se presenta una acción de intervención realizada en la Université Catholique de Louvain (UCL), en Lovaina-la Nueva (Bélgica) con el objetivo de estudiar cómo se trasladan las estrategias diseñadas a una titulación impartida en otro país del EEES.
- En el Capítulo 7 se presentan las conclusiones extraídas del trabajo realizado en la presente Tesis Doctoral.



## Contextualización

Las líneas de actuación presentadas en esta Tesis Doctoral se desarrollan fundamentalmente en el marco del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza, aunque también se han abordado intervenciones concretas en estudios de Máster, en particular, en el Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza. También se ha realizado una intervención, de forma prospectiva, en el Máster en Ingeniería Eléctrica de la Université Catholique de Louvain, en Bélgica.

Aunque los actuales estudios de Física dependen de la universidad donde se imparte, es cierto que la disciplina que nos concierne, la enseñanza de la Electrónica, tiene una presencia, contenido y peso específico bastante similar en los diferentes planes de estudio del territorio nacional, haciendo fácil transferir los resultados y conclusiones derivadas en esta Tesis Doctoral a la mayoría de estas enseñanzas universitarias.

Dado el tipo de estudios en los que se va a llevar a cabo el trabajo, es necesario integrar los objetivos, las metodologías propuestas y la evaluación para que sean coherentes con la adquisición de competencias específicas propias de disciplinas científico-tecnológicas junto con los paradigmas formativos actuales. Este es un claro ejemplo de cómo el contexto condiciona la metodología para la adquisición y evaluación tanto de competencias como de los modelos.

### 2.1. La enseñanza de la Electrónica en estudios de Grado

El transistor fue una invención científica, fruto de una investigación realizada por científicos, pero con muy poca conexión con la industria. Una vez aceptada por ésta, el transistor supuso una auténtica revolución, dando origen a la denominada Electrónica de Estado Sólido. Tal es así que afectó incluso a la enseñanza de la Electrónica como disciplina universitaria. A tal fin, y con objeto de preparar un material educativo que reflejase estos cambios se formó a finales de 1960 un grupo de expertos conocidos como SEEC (*Semiconductor Electronics Education Committe*).

Estaba compuesto por profesores universitarios y personal cualificado de industrias electrónicas, y coordinados por los profesores Searle y Adler del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). El resultado final se plasmó en siete tomos dedicados a la enseñanza de la nueva Electrónica en estudios universitarios.

En nuestro país, ese impacto en las enseñanzas universitarias tuvo su máxima significación en el Plan de Estudios B.O.E. 16-06-1977 de la Licenciatura en Física, donde se concretaba en una asignatura troncal de duración anual, Electrónica, en el cuarto curso de la carrera (un equivalente a 24 ECTS). En la Universidad de Zaragoza se impartía también la asignatura Electrónica Digital, de carácter optativo, pero también con una duración anual.

La aplicación de un nuevo plan de estudios para Licenciatura de Física (B.O.E. con fecha 12/11/1999) presentaba los estudios distribuidos en cuatro asignaturas cuatrimestrales (dos troncales y dos optativas). Las asignaturas troncales eran Electrónica I y Electrónica II, herederas de la antigua Electrónica, asignadas al segundo cuatrimestre de 4º curso y al primer cuatrimestre de 5º curso respectivamente. Las asignaturas optativas eran Fundamentos de Electrónica Digital y Sistemas Electrónicos Digitales circunscritas a 4º y 5º curso y provenientes de la antigua Electrónica Digital. Y, por último, estaban las asignaturas de libre elección departamentales, que, en el caso de la Universidad de Zaragoza, las asignaturas ofertadas con vínculos con la disciplina que nos ocupa eran Microelectrónica y Nanotecnología e Instrumentación Inteligente. A su vez, en este nuevo mapa de titulaciones aparecían estudios técnicos en los que la Electrónica cobraba mayor protagonismo (Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Telecomunicaciones).

En el Plan de Estudios más reciente (BOE-A-2011-2394), la enseñanza de la Electrónica en el Grado en Física ha quedado sustancialmente mermada respecto a planes de estudios anteriores, y, además, está condicionada por la estructura diseñada en la memoria de verificación de la universidad donde se imparte.

### 2.1.1. Grado en Física de la Universidad de Zaragoza

El Grado en Física<sup>1</sup> de la Universidad de Zaragoza, implantado en el curso 2011-12, es una titulación de carácter fundamental que proporciona formación en una de las ramas más relevantes de la Ciencia y la Tecnología.

---

<sup>1</sup>[https://academico.unizar.es/sites/academico.unizar.es/files/archivos/ofiplan/memorias/grado/ciencias/mv\\_124.pdf](https://academico.unizar.es/sites/academico.unizar.es/files/archivos/ofiplan/memorias/grado/ciencias/mv_124.pdf).

Es clave en una sociedad que pretende hacer del conocimiento científico una de las bases de su desarrollo, y ofrece una formación versátil que permite a sus titulados responder a la demanda de capital humano en muchos de los ámbitos de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), que es y será el motor económico de los próximos años.

Los estudios de Física en la Universidad de Zaragoza están entre los estudios de más larga tradición. Además, la importancia cada vez mayor que las estructuras de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) tienen en los países desarrollados, supone la necesidad de contar con profesionales formados en ciencias básicas, y en particular, en Física.

Actualmente, un sector importante de ocupación de los físicos se engloba dentro de la industria de alto valor tecnológico. A esto se une la necesidad de aumentar la competitividad de las empresas, lo que lleva a un incremento de las inversiones en innovación tecnológica (bien vía I+D+i interna, o por adquisición de material y personal tecnológico externos) promovido también desde la administración pública a través de ayudas y programas diversos de cooperación. Especialistas en electrónica, nuevos materiales, óptica, *big data*, inteligencia artificial (IA), etc., son cada vez más demandados por la industria.

La orientación del Grado en Física por la Universidad de Zaragoza es generalista dentro del ámbito científico y se articula en torno a los siguientes objetivos:

- Proporcionar conocimiento teórico y experimental de los principios generales de la Física y de las técnicas e instrumentación de uso más habitual, con hincapié en aquellos aspectos de especial relevancia por su trascendencia conceptual o su visibilidad en el entorno científico, tecnológico y social.
- Dotar a los graduados de una formación versátil y polivalente que les capacite para el ejercicio de actividades de carácter profesional en el ámbito científico-tecnológico, incluyendo actividades de investigación, innovación y desarrollo dentro de equipos multidisciplinares.

Estos objetivos se estructuran en torno a las siguientes competencias específicas:

- Capacidad para el ejercicio profesional en el ámbito de las Ciencias y Tecnologías Físicas y otras relacionadas.
- Dominio de las teorías físicas generales, tanto en el campo de la Física Clásica como de la Física Moderna.

- Dominio de los métodos matemáticos y numéricos básicos aplicables a la Física.
- Capacidad para evaluar y discernir los órdenes de magnitud en fenómenos físicos de distinta índole.
- Capacidad para identificar los elementos esenciales de un proceso o situación compleja.
- Capacidad para comprender o elaborar modelos simplificados que describen tales situaciones con el nivel de aproximación adecuado, y aplicarlos a las mismas o a otras análogas, con el objetivo de obtener predicciones relevantes sobre su evolución futura.
- Capacidad para evaluar la validez de un modelo mediante la comparación de los resultados de experimentos o medidas y las predicciones.
- Dominio del método experimental, capacidad de trabajo en el laboratorio y manejo de la instrumentación básica.
- Capacidad para la gestión, tratamiento, presentación y análisis de datos experimentales, sistematizando el uso de las herramientas informáticas propias de cada caso.
- Desarrollar y potenciar las habilidades y actitudes propias del método científico.

La enseñanza de la Electrónica en el plan actual del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza está vinculada fundamentalmente a la asignatura de Electrónica Física, tal y como se muestra en las Tablas 2.1 y 2.2. Competencias asociadas a circuitos, instrumentación electrónica y adquisición de medidas se adquieren a través del módulo de Técnicas Físicas, compartido con otras áreas de conocimiento, que está constituido por tres asignaturas en tres cursos consecutivos. Éstas son las dos únicas asignaturas donde principalmente se trabaja la Electrónica dentro del grado. Por ello, es vital poder ofrecer una formación complementaria desde las asignaturas optativas, aun siendo conscientes de que no la recibirán la totalidad de los egresados.

Esto permite abordar conceptos que no están presentes en los contenidos de Electrónica Física, ni de Técnicas Físicas, pero que suponen un valor añadido para la formación de un físico, como es el diseño microelectrónico y las tecnologías de fabricación de micro y nano sistemas. La enseñanza de la Electrónica en el Grado en

Física se completa con las asignaturas optativas Micro y Nano Sistemas y Sistemas Digitales.

A continuación se resumen brevemente los contenidos de cada una de estas asignaturas:

- Técnicas Físicas I. Tiene como objetivo obtener las competencias básicas en metrología e instrumentación electrónica aplicada a la medida de magnitudes físicas, y dar a conocer al alumno los fundamentos y operación de la instrumentación básica en diversas áreas de la Física.
- Técnicas Físicas II. Tiene como objetivo obtener las competencias básicas en adquisición de medidas, control de instrumentación electrónica y tratamiento de datos de sistemas físicos, y dar a conocer al alumno técnicas específicas de instrumentación automatizada en diferentes ámbitos de la física experimental.
- Técnicas Físicas III. Tiene como objetivo adquirir competencias para el desarrollo de trabajos experimentales en distintas áreas de la Física, potenciando la iniciativa y autonomía del alumno. El alumno debe realizar cuatro prácticas a elegir entre 8 que la coordinación del módulo selecciona en ámbitos tales como Caracterización Estructural; Control de Procesos; Energía; Electricidad y Magnetismo; Fotónica; Física de Gases; Metrología; Microelectrónica; Radiación y Partículas Ionizantes; Sistemas no Lineales; Teledetección; etc.
- Electrónica Física. Esta asignatura está integrada en el módulo de Estructura de la Materia junto con Física Cuántica I y II, Física Estadística, Estado Sólido I y II y Física Nuclear y Partículas. Tiene como objetivos proporcionar al alumno unos conocimientos generales sobre los fenómenos de transporte electrónico en dispositivos semiconductores que permitan su caracterización y modelado, así como sus aplicaciones a los circuitos y sistemas electrónicos actuales.
- Micro y Nano Sistemas. Asignatura del módulo optativo que tiene como objetivo introducir al alumno en las técnicas de diseño de micro y nano sistemas. Se pretende que el alumno obtenga un conocimiento básico, pero suficiente, de todas las fases existentes en el proceso de diseño y fabricación de los sistemas integrados. El alumno debe comprender también los fundamentos de los principales microsistemas electro-mecánicos y conocer sus aplicaciones.

**Tabla 2.1.:** Distribución por módulos de las asignaturas del Grado de Física de la Universidad de Zaragoza.

Módulo	ECTS	Curso	ECTS
Básicas	38	Fundamentos de Física I y II	12
		Laboratorio de Física	6
		Biología/Geología	6
		Química	6
		Informática	6
		Idioma extranjero (B1)	2
Métodos matemáticos	48	Álgebra I y II	6+6
		Análisis matemático	6
		Cálculo Diferencial	6
		Cálculo Integral y Geometría	6
		Ecuaciones Diferenciales	6
		Métodos Matemáticos para la Física	6
		Física Computacional	6
Física Clásica	42	Mecánica Clásica I y II	7+7
		Electromagnetismo	8
		Ondas Electromagnéticas	6
		Óptica	8
		Termodinámica	6
Estructura de la Materia	45	Física Cuántica I y II	7+8
		Física Estadística	6
		Física del Estado Sólido I y II	6+6
		Física Nuclear y de Partículas	6
		Electrónica Física	6
Técnicas Físicas	24	Técnicas Físicas I, II y III	8+10+6
Optativas	35		
TFG	8		

- **Sistemas Digitales.** Asignatura del módulo optativo cuyo objetivo es que el alumno conozca las técnicas de caracterización y diseño de los sistemas electrónicos digitales. Estos constituyen el núcleo fundamental de los equipos de medida y cálculo utilizados habitualmente en el estudio de fenómenos experimentales en laboratorio.

Las intervenciones realizadas en esta Tesis Doctoral, y que se presentarán en capítulos posteriores, se han llevado a cabo en las asignaturas de Técnicas Físicas I y III, Micro y Nano Sistemas y Electrónica Física. Son de especial interés las dos primeras debido a que, en el caso de Técnicas Físicas I, supone el primer contacto con algunos conceptos relacionados con la Electrónica. En el caso de Micro y Nano Sistemas se brinda una oportunidad perfecta para ayudar al alumno en el proceso de construcción de modelos, ya que será fundamental para una comprensión adecuada de los conceptos que se presentarán en la asignatura de Electrónica Física, obligatoria de último curso.

**Tabla 2.2.:** Distribución por cursos de las asignaturas del Grado de Física de la Universidad de Zaragoza.

Año	Primer Semestre (ECTS)	Segundo Semestre (ECTS)
Primero	Fundamentos de Física I (6)	Fundamentos de Física II (6)
	Química (6)	Laboratorio de Física (6)
	Álgebra I (6)	Álgebra II (6)
	Análisis Matemático (6)	Cálculo Diferencial (6)
	Informática (6)	Biología/Geología (6)
Segundo	Mecánica Clásica I (7)	Mecánica Clásica II (7)
	Cálculo Integral y Geometría (6)	Métodos Matemáticos (6)
	Ecuaciones Diferenciales (6)	Física Computacional (6)
	Electromagnetismo (8)	Ondas Electromagnéticas (6)
	Técnicas Físicas I (3+5)	
Tercero	Física Cuántica I (7)	Física Cuántica II (8)
	Termodinámica (6)	Física Estadística (6)
	Óptica (8)	Optativa (5)
	Optativa (5)	Optativa (5)
	Técnicas Físicas II (4+6)	
Cuarto	Estado Sólido I (6)	Estado Sólido II (6)
	Técnicas Físicas III (6)	Optativa (5)
	Electrónica Física (6)	Optativa (5)
	Física Nuclear y de Partículas (6)	Optativa (5)
	Optativa (5)	Trabajo Fin de Grado (8)
Idioma Extranjero B1 (2)		

## 2.2. La enseñanza de la Electrónica en estudios de Máster

En las últimas décadas, la disciplina de la ingeniería ha evolucionado por dos caminos diferentes. Por un lado, la velocidad del desarrollo tecnológico ha generado una necesidad de especialización dejando poco espacio a la tradicional educación en ingeniería de amplio espectro: este es el caso, por ejemplo, de la electrónica, la ciencia informática y el desarrollo de nuevos materiales.

Por otro lado, la misma evolución ha provocado la aparición en muchas áreas de aplicación de un creciente nivel de integración entre diferentes disciplinas: electricidad o electrónica, mecánica, automatización, tecnología de la información, entre otras. La evolución tecnológica tiene que responder a las necesidades de la sociedad por lo que los futuros ingenieros deben formarse de una manera especializada pero también deben disponer de un perfil multidisciplinar para ser capaces de enfrentarse a los problemas de la integración de múltiples disciplinas dentro de un sistema o equipo.

Históricamente la enseñanza de la Electrónica en estudios de ciclo superior ha estado fundamentalmente vinculada a la especialización o formación avanzada de estudios de corte técnico como las ingenierías, y se aborda en contextos asociados a la Ingeniería Electrónica (a veces con extensiones a los campos de automática y robótica), la Electrónica Industrial y los Sistemas Electrónicos.

En todos los casos, el objetivo es proporcionar una formación avanzada en el ámbito la Ingeniería Electrónica, desde las vertientes tanto de tecnologías industriales como de tecnologías de la información y las comunicaciones, y también con una orientación a graduados de titulaciones afines del ámbito de la ingeniería que deseen obtener una especialización en el ámbito de la Electrónica y Automática, ya que el peso específico en estudios avanzados en Física es muy pequeño.

### 2.2.1. Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza

El Máster en Física y Tecnologías Físicas<sup>2</sup> pretende proporcionar una formación avanzada y rigurosa que se adapte a las necesidades de la sociedad en diversos ámbitos de la Física y Tecnologías Físicas. Tiene como objetivo fundamental iniciar a la investigación en Física, así como formar profesionales con un alto conocimiento científico y técnico. La Tabla 2.3 muestra la distribución de asignaturas en el Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza.

Se pretende que el alumno consiga un alto grado de formación científica y/o técnica que le permita contribuir a las aplicaciones de la Física en la industria, la tecnología y otras ciencias, y con posibilidades de incorporarse a equipos de investigación o empresas de innovación tecnológica. El Máster en Física y Tecnologías Físicas pretende aportar a los estudiantes la capacidad de resolver problemas en entornos nuevos, integrar conocimientos, formular juicios a partir de una información incompleta y estudiar de modo auto dirigido. En él se adquirirá el dominio de las habilidades y métodos de investigación del campo de la Física elegido por el alumno, la capacidad de concebir, diseñar y llevar a cabo un proceso de investigación y, por último, comunicar dichos conocimientos a la comunidad científica y la sociedad en general.

Se pretende, por tanto, ofertar una formación sólida avanzada en diversos campos de la Física que permitan al estudiante profundizar con rigor en aquellas temáticas que sean de su interés. Además, el título de Máster en Física y Tecnologías Físicas

<sup>2</sup>[https://academico.unizar.es/sites/academico.unizar.es/files/archivos/ofiplan/memorias/master/ciencias/mv\\_602.pdf](https://academico.unizar.es/sites/academico.unizar.es/files/archivos/ofiplan/memorias/master/ciencias/mv_602.pdf).



**Tabla 2.3.:** Distribución de las asignaturas del Máster en Física y Tencologías Físicas de la Universidad de Zaragoza.

<b>Asignaturas Obligatorias</b>	<b>Semestre</b>	<b>ECTS</b>
Metodología de la Investigación en Física	S1	6
Temas Avanzados de Física	S2	6
Trabajo Fin de Máster	S1-S2	18
<b>Asignaturas Optativas</b>	<b>Semestre</b>	<b>ECTS</b>
Aplicaciones de la Óptica en el Entorno Industrial	S1	5
Astrofísica Relativista, Astropartículas y Cosmología	S1	5
Ciencia de Materiales	S1	5
Instrumentación Inteligente	S1	5
Interacción de Radiación y Materia	S1	5
Nanociencia y Nanotecnología	S1	5
Seguridad y Procesos Industriales con Láser	S1	5
Teoría Cuántica de la Materia Condensada	S1	5
Física de Bajas Temperaturas y Tecnologías Cuánticas	S2	5
Física de las Comunicaciones	S2	5
Física de Materiales Magnéticos	S2	5
Física de Partículas	S2	5
Física Estadística de Fenómenos Críticos y Sistemas Complejos	S2	5
Sistemas de Detección de Radiación	S2	5
Técnicas de Imagen y Radiofísica	S2	5

también constituye el periodo formativo del Programa de Doctorado en Física de la Universidad de Zaragoza.

El Máster consta de 60 créditos ECTS que incluyen un Trabajo Fin de Máster de 18 créditos ECTS de carácter anual y obligatorio, 2 asignaturas obligatorias de 6 ECTS de extensión cada una y un total de 15 asignaturas optativas, todas ellas cuatrimestrales de 5 créditos ECTS cada una.

En el Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza, la enseñanza de conceptos alineados con los sistemas electrónicos se aborda en las asignaturas de Instrumentación Inteligente, Sistemas de Detección de Radiación y Física de las Comunicaciones, así como en las temáticas propuestas para el Trabajo Fin de Máster.



## Marco teórico

### 3.1. Introducción y cuestiones de investigación

La presente Tesis se desarrolla en el ámbito de la enseñanza de la Electrónica en Educación Superior.

De la inquietud por dar un giro en la enseñanza, hasta ahora bastante tradicional, de la Electrónica en Educación Superior, y la colaboración con el Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Zaragoza, nace la investigación que se presenta en esta memoria.

A continuación se presentan las cuestiones de investigación, que quedarán justificadas, una vez que el lector haya leído el marco teórico de manera íntegra.

Las cuestiones de investigación planteadas como punto de partida de esta Tesis Doctoral son las siguientes:

- Explorar las posibilidades que ciertas estrategias didácticas pueden tener sobre la construcción de un modelo mental en el alumno.
- Diseñar y poner en práctica distintas estrategias intencionales.
- Evaluar cómo la aplicación de estas estrategias didácticas favorece una construcción del modelo de semiconductor en los alumnos.

### 3.2. Marco teórico de la investigación: Didáctica de las Ciencias Experimentales

Según indica Sanmartí (2002), durante muchos años la enseñanza de las Ciencias se ha llevado a cabo como una actividad empírica, en la que el aprendizaje se consigue exclusivamente a través de la experiencia, sin que existiesen teorías alternativas que explicaran por qué muchos estudiantes no aprendían y sirvieran para hacer predicciones sobre posibles prácticas distintas. Al mismo tiempo, Sanmartí (2002) también incide en la importancia que tendrá la irrupción de las

Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y su aplicación en el trabajo experimental y la simulación de fenómenos, así como en la posibilidad de establecer interacciones sin necesidad de coincidir en el centro académico, y de incidir en una mayor comunicación visual de las ideas.

De acuerdo a autores como Gilbert y Treagust (2009), atendiendo a la Didáctica de las Ciencias Experimentales, la construcción del conocimiento debe basarse en tres puntos fundamentales.

- La experimentación, que incluye el conocimiento adquirido a partir de experiencias sensoriales, directa o indirectamente.
- Los modelos, que son representaciones que actúan de puente entre las teorías y la realidad y son capaces de dar explicación a fenómenos incluso generalizando.
- Las visualizaciones, que implican el uso de simbología diseñada para facilitar el aprendizaje.

En la enseñanza de la Física, las simulaciones podrían englobarse dentro de las visualizaciones ya que ayudan a interpretar hechos a través de símbolos, tanto cualitativa como cuantitativamente y de alguna manera soportan al modelo mental del alumno.

### 3.2.1. Modelos y su uso en la enseñanza de las Ciencias

La enseñanza de las Ciencias enfocada a la construcción de modelos mentales en los alumnos, ha demostrado ayudar a éstos en la adquisición de conocimientos más robustos (Halloun, 2007). Pero, ¿qué entienden los autores por modelo dentro del contexto de la educación reglada de las Ciencias?

El concepto de modelo ha evolucionado con el tiempo. En 1920, un modelo era un mero ejemplo de una teoría. Más adelante, un modelo pasó a ser considerado como una aplicación de esa teoría. Y finalmente, en la década de 1980 se llegó a identificar como un sistema completo donde las acepciones de modelo se ampliaron considerablemente (Adúriz-Bravo, 2009).

Durante algún tiempo, la enseñanza de las Ciencias se fundó únicamente en la transmisión de conceptos teóricos. Sin embargo, se ha ido demostrando que este método de trabajo basado en memorizar conceptos no era una forma efectiva de adquirir conocimiento científico (Hewson, 1981). Hoy en día, las Ciencias están

orientadas en cómo las teorías científicas dan sentido al mundo en el que se aplican y cómo tienen sentido para quienes las aplican (agentes cognitivos) (Adúriz-Bravo, 2001).

En base a esto, un modelo puede definirse como una representación de un hecho y sirve como un puente que conecta una teoría y un fenómeno (Oh y Oh, 2011). La adquisición de modelos en Ciencias es especialmente relevante porque los modelos científicos explican y predicen fenómenos naturales. Una vez adquiridos, estos modelos permiten tanto la verbalización conceptual como la comunicación de ideas científicas entre los estudiantes. En consecuencia, la enseñanza de Ciencias basada en modelos se ha ido generalizando, especialmente en las etapas educativas tempranas iniciales (principalmente en Educación Primaria).

Todos los estudiantes tienen modelos iniciales derivados de ideas previas asociadas con un fenómeno específico. Estos modelos no son estáticos, ya que se prueban continuamente, tanto empírica como conceptualmente, y cambian con el proceso de desarrollo del conocimiento científico (Oh y Oh, 2011). Estos modelos sucesivos se construyen sobre la base de modelos intuitivos que consideran los conceptos iniciales como base para los nuevos. Estos nuevos modelos pueden construirse utilizando estrategias de enseñanza basadas en la modelización.

Además, según Clement (2000), el aprendizaje mismo tiene lugar junto con la evolución continua de los modelos de los estudiantes. Como consecuencia, parece claro que los modelos deben ser importantes en los procesos de enseñanza de las Ciencias. Sin embargo, dedicar recursos (materiales, espacio y tiempo) a ayudar a los estudiantes a construir sus modelos de conocimiento en un entorno educativo formal sigue siendo inusual (R. S. Justi y Gilbert, 2002).

La modelización es el proceso de crear modelos científicos originales e innovadores con respecto al conjunto de conocimientos establecidos en un momento histórico específico. Consiste en la construcción de argumentos en los que los hechos científicos investigados se incluyen en los modelos disponibles que pueden explicarlos. Esto supone el ajuste de los modelos establecidos debido a la aparición de nuevos datos anómalos durante la investigación, como resultado del contraste mediante las hipótesis teóricas. La modelización también supone el ejercicio intelectual de aplicar modelos existentes para explicar hechos ya estudiados en un entorno de enseñanza y capacitación.

La definición del concepto de modelización no quedaba muy clara hasta que algunos autores han desgranado este concepto. Oliva (2019) diferencia, dentro de la acepción de modelización, cinco distintas en función del objeto de dicha

modelización. En la primera acepción, el autor trata la modelización como una progresión de modelos, donde la enseñanza debe perseguir la evolución de los modelos del alumno trabajado a través del planteamiento de preguntas a las cuales deben darle respuesta re-evaluando continuamente su modelo. Dicho autor establece (segunda acepción) que la modelización se puede entender también como una práctica científica que implica una especie de ciclo de investigación científica donde se deben plantear problemas, formular predicciones, recoger y analizar información para comprobarlas, elaborar nuevas ideas, etc.

En la tercera acepción, Oliva (2019) define la modelización como competencia, es decir como un conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémicos. Esto significa que además de trabajar los modelos de la ciencia escolar, la modelización implica elaborarlos, revisarlos y darles utilidad en el aula. En la cuarta definición, se atiende a la modelización en su dimensión instrumental, es decir, en lugar de presentar los modelos escolares en formato declarativo de manera simplificada, se presentan utilizando recursos e instrumentos retóricos que ayuden a su interiorización, como artefactos epistémicos que ayuden a la creación y validación de modelos (Gilbert y Justi, 2016). En esta acepción se pone de manifiesto la importancia de los recursos que han de acompañar la construcción del modelo, dibujos, analogías, simulaciones, etc. (Treagust y Harrison, 2000). Según Oliva (2019), la quinta acepción implica considerar la modelización como enfoque didáctico. Esto significa que la modelización se contempla como enfoque educativo global donde, el profesor adopta decisiones para promover una evolución de los modelos de los estudiantes.

Considerando todo esto, muchos autores creen actualmente que la enseñanza a través de la modelización, para lograr la construcción de un modelo mental robusto en el alumno, es esencial en la educación científica (Bernardino Lopes y Costa, 2007; Halloun, 2007; Harrison y Treagust, 2000; Oliva y col., 2015; Prins y col., 2009). Badillo (2004) señala además que la modelización debería ser una de las actividades científicas centrales. Parece claro pues que, la enseñanza basada en modelos debe ser un objetivo importante del aprendizaje junto con el contenido del proceso de aprendizaje en sí. También debe convertirse en una forma de enseñar y aprender, ya que la modelización implica el desarrollo de la mayoría de las habilidades científicas: plantear problemas, formular hipótesis, buscar información, desarrollar nuevas explicaciones e interpretar fenómenos (Barsalou y col., 1999; Nersessian, 2002).

Con el fin de diseñar procedimientos de enseñanza basados en la metodología expuesta se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de los artículos publicados

en los últimos diez años, para analizar en qué grado se está aplicando actualmente la modelización en la enseñanza de las Ciencias y los beneficios epistemológicos y metacognitivos concretos en los alumnos que reciben este tipo de enseñanza. Una vez revisados los trabajos que se comentan a continuación, se han diseñado actividades para desarrollar una enseñanza basada en la modelización, en el contexto de la enseñanza de la Física universitaria.

A pesar de las ventajas que parece aportar la modelización a la construcción del modelo mental en el alumno, y a pesar de que autores como Erduran y Duschl (2004) y Gutiérrez (2004) indican que esta práctica es más común en el contexto de la educación obligatoria (Educación Primaria y Educación Secundaria), es poco habitual en el ámbito universitario.

### 3.2.2. Modelización como herramienta en la enseñanza de Física en educación universitaria

Para analizar cómo de extendida está la modelización en el proceso de enseñanza de la Física a nivel universitario, se ha llevado a cabo un análisis del estado del arte. El objetivo de este primer análisis ha sido analizar los trabajos de investigación publicados en el ámbito de la modelización a nivel de la enseñanza de la Física en educación superior, prestando especial atención a los que realizan estudios empíricos dado que es la línea de trabajo de la presente Tesis.

Teniendo en cuenta la importancia del resto de trabajos, estos se han considerado como parte de la fundamentación teórica de la Tesis a pesar de que hay trabajos en niveles educativos diferentes a la educación superior. Los trabajos restantes se han clasificado en tres categorías: los que realizan estudios sobre estrategias didácticas y modelos para enseñar Ciencias en la escuela, los que realizan estudios sobre estrategias didácticas y modelos para enseñar Ciencias en la Educación Superior y, finalmente, los que realizan estudios sobre estrategias didácticas y modelos para enseñar Física en la Educación Superior. Además de averiguar si la Física en la Educación Superior se centra actualmente en la enseñanza basada en modelos, se ha buscado obtener una visión general de la modelización aplicada a la enseñanza en todos los niveles educativos. En la Tabla 3.1 se muestran los artículos analizados clasificados según el nivel educativo donde se aplican.

El resultado más evidente es que se han publicado muy pocos artículos sobre modelizado en Ciencias en los últimos años, y todos son estudios de los últimos diez años. Esto es un campo relativamente nuevo de interés educativo que investigar. Se

**Tabla 3.1.:** Autores y año de publicación de artículos que analizan estrategias didácticas y modelización en distintos niveles educativos.

	<b>Trabajo</b>
Estrategias didácticas y modelado para enseñar Ciencias en Educación Primaria	R. Justí (2009) Amadeu y Leal (2013) Aragón y col. (2014) Hernández y col. (2015) Kneubil (2016)
Estrategias didácticas y modelado para enseñar Ciencias en Educación Superior	Durán y col. (2015) González-Gómez y col. (2017) Sánchez-Martín y col. (2017) J. Wang y col. (2018) Hudha, Batlolona y col. (2017) Wartono y col. (2018)
Estrategias didácticas y modelado para enseñar Física en Educación Superior	Ceberio y col. (2014) Pocoví y Collivadino (2014) Almudí y col. (2016) Brewer y Sawtelle (2018)

puede observar que la modelización y, en concreto la modelización en su dimensión instrumental (Oliva, 2019), a través de la implementación de estrategias educativas en Ciencias a nivel escolar se han estudiado más en profundidad que a un nivel educativo superior.

Dentro de los artículos que publicaron estudios sobre modelado en Ciencias, el número de publicaciones sobre la disciplina de la Física es aún menor. Por lo tanto, se podría concluir que, aunque la enseñanza basada en modelos ha comenzado a implementarse en los últimos años, aún no se ha introducido lo suficiente en la Educación Superior.

### **3.2.2.1. Implicaciones cognitivas de la aplicación de la modelización en la enseñanza de la Física**

Uno de los resultados que tiene más interés es saber cuáles son las mejoras cognitivas que se pueden lograr al enseñar conceptos de física siguiendo estrategias basadas en la modelización. Para esto, es necesario recopilar los resultados encontrados por los autores que aplican la enseñanza basada en modelos y resumirlos para tener una visión global.

Debido al bajo número de publicaciones centradas en el nivel educativo universitario, en esta sección se han tenido en cuenta los resultados de los estudios



desarrollados en todos los niveles educativos donde la Física ha sido trabajada a través de la enseñanza basada en modelos.

Kneubil (2016) realizó una investigación empírica en el contexto educativo de la escuela y sus resultados demostraron que un enfoque basado en modelos en la enseñanza de la Física podría mejorar las lecciones y aportar una visión epistemológica de la ciencia. Esto se debe a que el modelo se demostró como una representación conceptual de un evento real y acerca una imagen de la naturaleza, que la dimensión teórica del conocimiento no explica, y el fenómeno observado no mide.

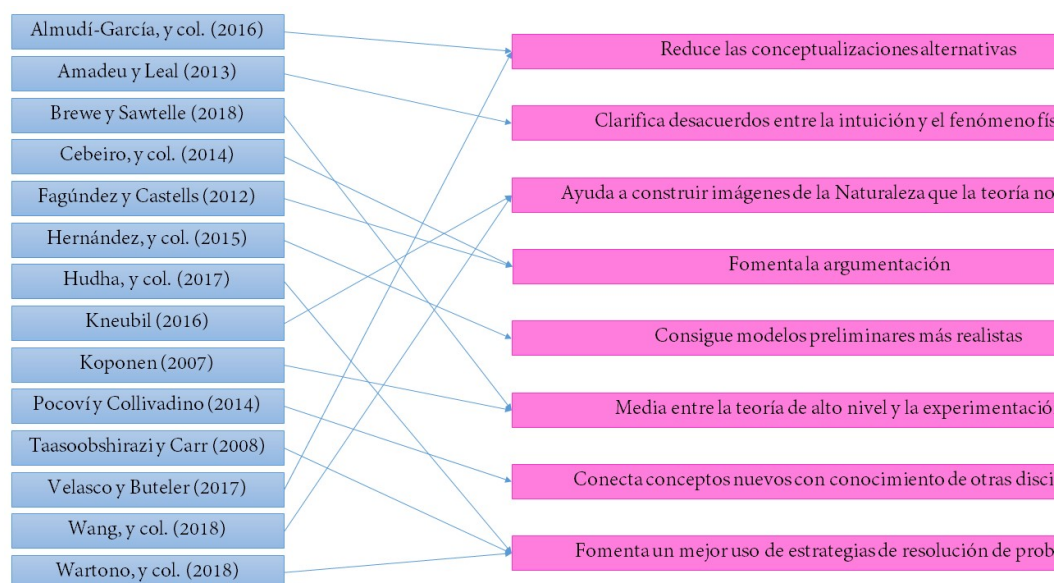
A veces, los conceptos de física no son tan intuitivos como se desearía. García Carmona y col. (2009) indica que los resultados de numerosas investigaciones sobre los problemas de enseñanza y aprendizaje de la Física, ponen de manifiesto la presencia de multitud de factores que hacen compleja la tarea docente de esta disciplina. Así, el uso de estrategias educativas, como las simulaciones por ordenador, pueden facilitar esta labor y, de paso, aclaran el desacuerdo entre la intuición y el hecho físico. Esto es especialmente útil para estudiantes con capacidad de razonamiento abstracto (Amadeu y Leal, 2013; J. Wang y col., 2018).

Varios estudios analizan otras estrategias educativas para conocer el efecto en la construcción del modelo específico de un fenómeno de física. Por ejemplo, Almudí y col. (2016) desarrollaron una investigación empírica en el contexto de la escuela secundaria, y explican que la implementación de actividades específicas secuenciadas, logra una comprensión satisfactoria del modelo explicativo de los fenómenos electromagnéticos y que reduce las concepciones alternativas.

Después de desarrollar una investigación empírica en el contexto escolar, Hernández y col. (2015) concluyeron que los modelos expresados preliminares se vuelven más sofisticados a través de la enseñanza basada en la modelización.

La resolución de problemas como investigación guiada podría ser otra forma efectiva de enseñar, ya que también proporciona características apropiadas para promover la argumentación en las clases de física y como consecuencia el modelo mental es más robusto (Almudí-García y col., 2013; Hudha, Batlolona y col., 2017; Wartono y col., 2018).

En la revisión que publicaron Taasoobshirazi y Carr (2008) describen una mejor adquisición del modelo cuando el docente utiliza estrategias de resolución de problemas antes del análisis conceptual. Por otro lado, Velasco y Buteler (2017)



**Figura 3.1.:** Mejoras cognitivas identificadas en los trabajos analizados.

explican que la enseñanza basada en modelos ayuda a los estudiantes a identificar y modificar sus propias concepciones alternativas asociadas con la Física.

Además de todo lo anterior, según algunos autores, como Koponen (2007) y Brew y Sawtelle (2018), las contribuciones a la construcción del modelo en Física deben ocurrir en el contexto de experimentos y experimentación, de manera que los modelos median entre la teoría de alto nivel y los datos de medición. La información encontrada se resume en la Figura 3.1. Allí se ha relacionado cada mejora cognitiva con el autor que la describe.

En resumen, los resultados muestran mejoras importantes en las concepciones alternativas de los estudiantes porque trabajar a través de la modelización para que el alumnado construya un modelo robusto, les permite construir una imagen de los diferentes fenómenos cercanos a la realidad, lo que a su vez se traduce en argumentos más complejos y la aplicación de una resolución de problemas más eficiente.

### 3.2.2.2. Estrategias educativas en la construcción del modelo

En la búsqueda bibliográfica se analizó también la información que ayudó a concluir cómo la estrategia adoptada para la enseñanza de la Física es capaz de mejorar el modelo mental específico del tema tratado. De esta forma, el objetivo ha sido tratar de establecer un vínculo entre la estrategia educativa y la mejora cognitiva

**Tabla 3.2.:** Estrategias educativas analizadas de acuerdo al autor que las trabaja.

<b>Estrategia Educativa Analizada</b>	<b>Trabajo</b>
Resolución guiada de problemas	Almudí y col. (2016)
Simulaciones por computador y representaciones gráficas	Amadeu y Leal (2013)
Uso de analogías	Nicolaou y Constantinou (2014)
Uso de argumentación	Velasco y Buteler (2017)
	Aragón y col. (2014)
	Coll y col. (2005)
	Boettcher y Meisert (2011)
	Fagúndez y Castells (2012)
Generación de ciclos de preguntas, investigación y revisión de modelos	Brewe y Sawtelle (2018)
Uso de argumentación y trabajo colaborativo	Clement (2000)
Buenas prácticas y trabajo colaborativo	Ceberio y col. (2014)
Trabajo colaborativo	Durán y col. (2015)
Estrategias para enlazar ideas	Gast y col. (2017)
Estrategias <i>flipped</i>	Gobert y Buckley (2000)
	González-Gómez y col. (2017)
	J. Wang y col. (2018)
Trabajo colaborativo	De Hei y col. (2016)
	Wartono y col. (2018)
Discusiones en clase	Hernández y col. (2015)
Experimentación práctica	R. Justi (2009)
Mapas conceptuales y uso de analogías	Oliva y col. (2015)
<i>Gamificación</i>	Sánchez-Martín y col. (2017)
Análisis conceptual de problemas previo a su resolución	Taasoobshirazi y Carr (2008)
Generación de controversias y conflictos	Van Dinther y col. (2011)
Realimentación por pares	Van Popta y col. (2017)
Buenas prácticas	Zabalza Beraza (2012)

lograda, para analizar cómo las diferentes estrategias didácticas son efectivas en la construcción del modelo.

La importancia de que los estudiantes construyan modelos se enfatiza en los artículos analizados, que ponen de manifiesto que la importancia anteriormente atribuida al conocimiento teórico debe progresar hasta que convertirse en un modelo activo. Esta mejora continua se logra cuando el modelo se contrasta con situaciones reales, que permiten verificar el modelo del alumno y que pueden ser facilitadas por los docentes. En resumen, el proceso de enseñanza puede fomentar la mejora o construcción del modelo y esto se puede lograr mediante el uso de ciertas estrategias de enseñanza. Algunas de las utilizadas se muestran en la Tabla 3.2 de manera resumida.

Almudí y col. (2016) destacan la importancia de diseñar una secuencia de actividades para la resolución guiada de problemas que ayude a los estudiantes a construir su modelo personal. Los autores destacan los beneficios de esta estrategia de enseñanza en la construcción sólida del modelo del alumno, ya que es una forma de generar conocimiento de una manera secuencial dirigida. Primero se coloca una base firme y luego el modelo se forma gradualmente. Esta estrategia garantiza un modelo robusto, ya que su construcción ha sido dirigida por el profesor y es adecuada cuando se presentan nuevos conceptos de ciencias a los estudiantes. Del mismo modo, es apropiado para enseñar conceptos abstractos que son difíciles de asimilar.

Otros autores (Amadeu y Leal, 2013; Velasco y Buteler, 2017) enfatizan que las simulaciones por ordenador ayudan a los alumnos acercando situaciones reales al contexto de aprendizaje del estudiante. Como resultado, permiten construir relaciones específicas entre características de representación y desarrollo conceptual en un entorno particular.

Esta estrategia educativa es muy útil para estudiantes con razonamiento abstracto pobre. Trabajar de esta manera ayuda a contextualizar el modelo de Ciencias, ya que la simulación hace que las situaciones sean más realistas para los estudiantes. Las simulaciones por ordenador también son muy útiles para los estudiantes con un alto razonamiento abstracto, ya que les permiten verificar sus modelos y, por lo tanto, se refuerzan.

Las analogías utilizadas en el proceso de enseñanza pueden ser útiles no solo para construir los modelos sino también para desarrollar habilidades para modelizar (Aragón y col., 2014; Oliva y col., 2015). Las analogías pueden comparar las similitudes y diferencias entre una situación y otra; por lo tanto, ayudan en la construcción del modelo científico basado en el análisis de la relación que se establece entre dos modelos previamente conocidos.

Sin embargo, Oliva y col. (2015) llaman la atención sobre el uso abusivo de analogías, que podrían resultar contraproducentes. Esto a veces ocurre cuando los estudiantes interpretan analogías literalmente, lo que causa confusión. Para evitar esto, la dificultad y el uso de las analogías propuestas deben calibrarse y aplicarse criterios de progresión. Por otro lado, no todas las analogías son adecuadas para todos los niveles de los estudiantes, un punto que también debe considerarse.

En varios estudios, se concluye que el trabajo grupal colaborativo es también una herramienta educativa efectiva en la construcción de modelos (Coll y col., 2005; De Hei y col., 2016; Gast y col., 2017; Hernández y col., 2015). Trabajar en un

grupo implica múltiples interacciones para aclarar y fijar objetivos, ayudar a evaluar otros puntos de vista y, por lo tanto, compartir conocimientos.

La discusión grupal en clase, la realización de una tarea para desarrollar conflictos cognitivos y la organización de ciclos de preguntas sobre la perspectiva científica también parecen ser una forma prometedora de construir y revisar el modelo mental del alumnado (Brewer y Sawtelle, 2018; Clement, 2000; Hernández y col., 2015; Hudha, Batlolona y col., 2017; Van Dintter y col., 2011).

Otra estrategia educativa es la clase invertida. Fue descrito por González-Gómez y col. (2017) y J. Wang y col. (2018) como un método que no solo influye en los resultados del aprendizaje, sino también en la percepción de los estudiantes sobre los contenidos y la metodología científica. Esta estrategia fomenta la adquisición del modelo en el proceso de aprendizaje. El tiempo pasado en clase se puede usar para ratificar o modificar el modelo adquirido.

Los experimentos prácticos y los mapas conceptuales también se consideran un factor de impacto importante en la construcción del modelo (Hernández y col., 2015; Nicolaou y Constantinou, 2014). Los experimentos prácticos colocan a los estudiantes en un escenario real, por lo tanto, el modelo construido es casi real.

Un número creciente de estudios muestran la importancia del juego en el proceso de aprendizaje de un estudiante; por ejemplo, Sánchez-Martín y col. (2017) lo relacionan con una mejora en la adquisición del modelo, lo que resulta en un mejor rendimiento académico.

Otras estrategias, como analizar los problemas conceptualmente antes de resolverlos, se han descrito como otras herramientas metodológicas para llegar a un modelo más realista (Taasobshirazi y Carr, 2008; Wartono y col., 2018). Los métodos de trabajo, como la retroalimentación entre pares, se pueden aplicar porque se ha demostrado que son efectivos en el proceso de aprendizaje basado en modelos del estudiante (Van Popta y col., 2017).

Además, las buenas prácticas se incluyen en la Tabla 3.2 como una herramienta adicional para lograr el propósito descrito (Durán y col., 2015; Gobert y Buckley, 2000; Zabalza Beraza, 2012). Muchas de las estrategias de enseñanza descritas como características del proceso de modelización ya se aplican en la educación científica a nivel escolar: promover la comprensión y el pensamiento crítico como un proceso mental que involucra pensamiento de alta calidad y alto nivel para la resolución de problemas y la toma de decisiones (Al-Mubaid, 2014; Forawi, 2016).

Las mencionadas aquí son estrategias que facilitan la construcción del modelo. Sin embargo, se necesita ayuda para evaluar si el modelo es correcto en su construcción. En la metodología de enseñanza basada en la modelización, no hay que perder de vista la importancia de la evaluación.

Es conveniente cambiar el proceso de evaluación y que éste sea capaz de evaluar el modelo del alumno. Se debe huir de evaluaciones que no facilitan datos del proceso metacognitivo sino que muchas veces indican si el alumno ha sido capaz de reproducir datos memorísticos. Una opción de evaluación puede consistir en la retroalimentación de los pares como una actividad de aprendizaje para el proveedor (De Hei y col., 2016; Van Popta y col., 2017).

La argumentación es una herramienta útil para verificar si el modelo construido es apropiado (Almudí-García y col., 2013; Boettcher y Meisert, 2011; Coll y col., 2005; Fagúndez y Castells, 2012). Estos autores describieron la argumentación como un paso crítico en la evaluación del modelo principal de acuerdo con la coherencia y los datos empíricos, y también como una herramienta que proporciona una ruta para comprender la naturaleza de la ciencia. Es decir, pedirles a los alumnos que argumenten sobre un tema, permite analizar al docente la coherencia en sus argumentos y relacionar esto con el modelo mental que ha construido el alumno.

Tras revisar la literatura, y de acuerdo con los resultados publicados, algunas estrategias educativas han demostrado ser una herramienta educativa efectiva para que los estudiantes adquieran modelos apropiados. Algunas estrategias sirven para comparar nuevas situaciones con las que ya se conocen, en otras palabras, para adaptar su modelo tomando como base otros modelos conocidos. Otras estrategias, como el diseño de una secuencia de actividades utilizadas en el proceso de enseñanza, pueden servir para construir un modelo progresivo.

Comenzando con un modelo básico, el objetivo es completarlo y mejorarlo mediante actividades secuenciales que el docente haya diseñado correctamente. El trabajo grupal colaborativo ayuda a comparar el modelo de cada estudiante con el de sus compañeros. Estos modelos se comparan continuamente entre sí, lo que ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de los propios modelos de cada estudiante.

En consecuencia, esta estrategia ayuda a construir un modelo robusto final lo más cercano posible al real. Construir un modelo sobre temas abstractos que a menudo tienen poco que ver con la vida cotidiana no es fácil. Las estrategias educativas, como el trabajo experimental o las simulaciones por ordenador, ayudan a conectar los modelos con la realidad.

En base a los resultados, se pueden concluir dos cosas: que el énfasis en la construcción de modelos se ha puesto hasta ahora en la enseñanza de las Ciencias a nivel escolar (educación obligatoria). Sin embargo, pocos estudios se han centrado en experiencias basadas en la metodología de enseñanza en la Educación Superior hasta el momento y en particular muy pocos han analizado la modelización en la enseñanza de la Física.

Con respecto a la enseñanza de la Física, ésta se ha centrado principalmente en desarrollar una comprensión conceptual de los contenidos, las leyes y los principios de la asignatura en lugar de desarrollar modelos que enfatizan la construcción del conocimiento y su validación a través de la investigación (Almudí-García y col., 2013).

Este tipo de enseñanza ha dificultado que los estudiantes adquieran modelos de aprendizaje y esto se ha recogido en investigaciones concretas donde se han descubierto serias dificultades en el aprendizaje (Pfundt y Duit, 2009). Sinarcas y Solbes (2013) profundizaron en las causas de esta falta de aprendizaje y concluyeron que los conceptos y modelos son apenas intuitivos y muy alejados de las percepciones diarias.

Por lo tanto, la enseñanza obviamente debe adaptarse para proporcionar a los estudiantes, incluso a aquellos en Educación Superior, modelos de conocimiento. Por otro lado, se concluye que un paso importante en la enseñanza a través de la modelización es el uso de ciertas estrategias didácticas cuyos beneficios se han comentado en este mismo apartado.

Tras concluir que los autores que han investigado al respecto expresan y describen la importancia de la modelización en la construcción de modelos robustos en los alumnos, solo unos pocos estudios investigan las consecuencias metacognitivas y cognitivas. Muchos de los trabajos presentados aquí son importantes estudios teóricos que deben tomarse como base para desarrollar modelos en Ciencias cada vez más frecuentes. Por esta razón, se ha considerado relevante ampliar las investigaciones en el campo de la construcción de modelos en la disciplina científica en estudiantes de niveles educativos superiores.

De la revisión llevada a cabo sobre el estado del arte sobre la enseñanza basada en modelos y las estrategias educativas utilizadas en física en la Educación Superior, se concluyó la necesidad de explorar el diseño y aplicación de estrategias contextualizadas en la educación de la Física, en concreto de la Electrónica, en la educación universitaria.

## 3.3. Metodología

### 3.3.1. Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como instrumento en la enseñanza de la Electrónica basada en modelización

La entrada en vigor del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) supuso cambios sustanciales desde el punto de vista del modelo de docencia que nuestra universidad ha de desarrollar, y de la concepción sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje en la Educación Superior que subyace a ese modelo. En particular, dos elementos de este nuevo modelo docente resultan destacables: la delimitación, como objetivo prioritario de la enseñanza, del aprendizaje por competencias por parte del estudiante, y la propuesta de una enseñanza centrada en el trabajo y el aprendizaje del estudiante como medio para alcanzar ese objetivo (Onrubia, 2005).

En un modelo de docencia basado en los principios y características anteriores, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) aparecen como un instrumento privilegiado para facilitar, promover y mejorar el trabajo de seguimiento, supervisión, orientación y apoyo que el profesor puede y debe hacer al trabajo y al aprendizaje autónomo del estudiante (Olmo y col., 2012; Zúñiga y col., 2012).

Las tareas de supervisión y tutorización de la actividad del alumno se pueden realizar sin necesidad de coincidir con él en el espacio y en el tiempo. Por otra parte, las TIC ofrecen la posibilidad de establecer foros de discusión entre estudiantes y que el profesor pueda analizar, valorar y devolver información al grupo. También puede disponer de un registro del proceso que un alumno ha desarrollado hasta la consecución de un trabajo o problema presentado en formato hipertextual o hipermedial.

Muchos centros de Educación Superior e investigación han apostado por estrategias enfocadas a proyectos OpenCourseWare (OWC), en los que el acceso al material es libre, gratuito y puede ser reutilizado libremente, o mediante *podcasting* como complemento a sus enseñanzas. Incluso las revistas científicas comienzan a ofrecer galerías de presentaciones (AudioSlide Galleries) de sus artículos. La incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a la docencia universitaria está jugando un papel cada vez más relevante (Buabeng-Andoh, 2012; Piramuthu, 2005; Regueras y col., 2009; Zúñiga y col., 2012).



Las TIC que presentan un mayor potencial educativo son las que facilitan que el profesor pueda tener más presencia en el proceso de aprendizaje del alumno, facilitando soporte inmediato y relevante. Pero también se presentan como un espacio adecuado para promover una mayor profundización en temas específicos de cada disciplina (Kirkwood y Price, 2005).

La educación en Física (en concreto en Electrónica) en Educación Superior debería centrarse gradualmente en la enseñanza basada en modelos y sus consecuencias deberían publicarse. Si la enseñanza basada en modelos facilita el aprendizaje en las escuelas, podríamos suponer que lo mismo podría ocurrir en Educación Superior, específicamente Física a nivel universitario, que no resulta fácil.

Los pocos artículos publicados sobre la enseñanza de la Física a nivel universitario demuestran la efectividad de una variedad de estrategias educativas en la construcción del modelo de aprendizaje del estudiante. Un diseño apropiado de actividades y una implementación adecuada facilitan la comprensión del modelo de fenómenos como los electromagnéticos o los mecánicos.

Como ejemplo, la simulación por ordenador hace que el modelo sea más realista y aclara los posibles desequilibrios entre los hechos y la intuición física. Este último ayuda a los estudiantes a identificar y modificar sus propias concepciones alternativas asociadas con la Física.

Aun así, hay que tener presente que la incorporación de las TIC a la docencia no supone necesariamente un cambio de modelo pedagógico, ni una mejora de la enseñanza y puede, sin embargo, transmitir una falsa imagen de cambio.

Es absolutamente necesario diferenciar entre las posibilidades de las TIC y el uso efectivo que se realiza de ellas, entre las potencialidades que ofrecen como instrumentos, y la actividad en la que se insertan. Tomando como base todo lo recogido en la bibliografía descrita, se han diseñado y evaluado estrategias basadas en las TIC y soportadas por las investigaciones en Didáctica de las Ciencias en general y en la Física en particular.

### 3.3.2. Diseño y uso de recursos TIC para la enseñanza basada en modelos en Electrónica en Educación Superior

En esta tesis se presenta un conjunto de recursos didácticos específicos, creados para implementar estrategias metodológicas encaminadas a ayudar a los alumnos

matriculados en asignaturas del Área de Electrónica del Grado y Máster en Física a construir modelos mentales de conocimiento, como se describirá en el Capítulo 4. Dichos recursos proporcionan una visión práctica complementaria al tratamiento analítico de los temas gracias a la que se establecen procesos inductivos y de contraste de los modelos, y, a la vez, fomentando la participación en actividades de grupo, en las que dichas tareas se verán reforzadas por la acción de los pares.

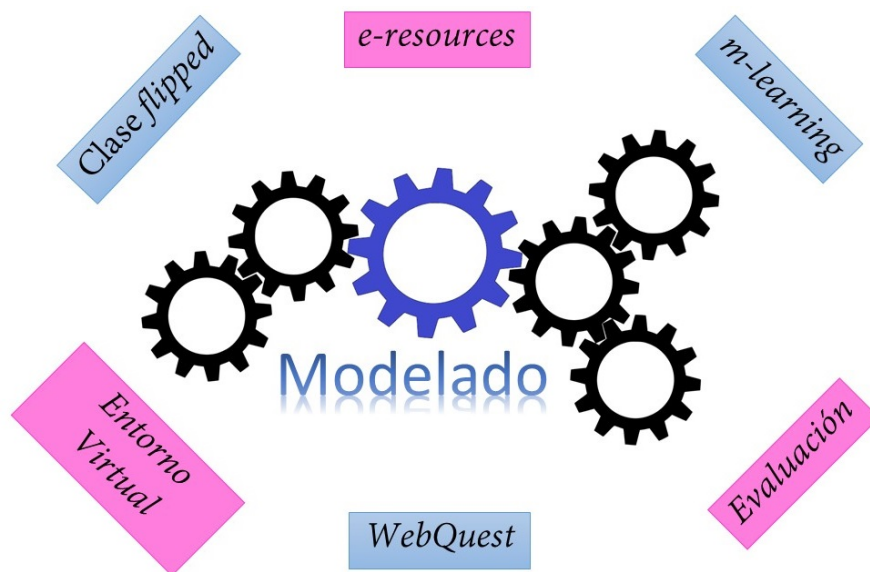
Como se explicaba en el punto anterior, entre las muchas aplicaciones de las TIC en el aula (Olmo y col., 2012; Zúñiga y col., 2012), las que tienen un mayor potencial para la docencia son aquellas que permiten intervenir en las fases de la construcción del modelo de conocimiento del alumno, evaluando sus concepciones previas para partir de ellas, secuenciando actividades que faciliten la construcción de un modelo robusto y aumentando el seguimiento del profesor del proceso de aprendizaje del alumno, facilitando soporte inmediato y relevante. El uso de los recursos TIC dota de una perspectiva innovadora al tratamiento de temas complejos, facilitando la comprensión de los fenómenos físicos mediante una descripción visual que complementa a su descripción analítica convencional.

Algunas de las ventajas propias de la utilización de las TIC son el amplio abanico de herramientas a su disposición que permite al alumno proyectar la diversidad de aprendizajes que ha interiorizado. También proporciona un componente motivador y de estímulo al tratarse de un trabajo continuado donde se van comprobando rápidamente los esfuerzos y resultados obtenidos, y fomenta el alfabetismo digital.

Por un lado, se ha hecho uso de las enormes posibilidades que ofrecen los entornos virtuales de simulación para acercar conceptos teóricos y conseguir una visualización de los mismos, lo que contribuye a la construcción de los modelos mentales de conocimiento asociados a ellos.

En este sentido, se pueden destacar elementos como aplicaciones interactivas, laboratorios virtuales o herramientas de simulación, en las que se representa de una manera realista el comportamiento de los dispositivos en la realidad, o páginas web tipo Wiki o diseñadas como *WebQuest*, en las que los estudiantes plasman y organizan sus conocimientos de manera cooperativa, o gracias a las que se embarcan en procesos de diseño y resolución de tareas complejas.

Por otro lado, los dispositivos móviles actuales tienen características como conectividad, geolocalización, *apps* para la grabación y creación de contenidos, entre otras, que los hacen interesantes para el aprendizaje ubicuo mediante el *m-learning*, del que sin embargo no existen muchas realizaciones para la enseñanza



**Figura 3.2.:** Esquema ilustrativo de cómo el uso de recursos educativos específicos pueden contribuir a la construcción y el desarrollo de modelos mentales de conocimiento.

de las Ciencias (Zydney y Warner, 2015) y menos en Educación Superior (Cheon y col., 2012; Motiwalla, 2007).

Así, recursos como apuntes enriquecidos en código abierto para su utilización en dispositivos móviles, que incluyen recursos multimedia (vídeo, audio, interactividad y navegación avanzada), pensados para orientar conocimientos, profundizar en conceptos y mostrar aplicaciones reales son otras de las implementaciones realizadas. A continuación vamos a describir los recursos didácticos basados en TIC que se han desarrollado en el marco de esta tesis.

Los *webinars* (*web-based seminar*) representan la integración de la tecnología en las prácticas educativas con el objetivo de brindar apoyo, servir como herramienta, ampliar las posibilidades de formación del alumno y usarse selectivamente cuando sea necesario.

Pueden tener un formato que abarque presentaciones, conferencias, talleres o seminarios, transmitidos a través de Internet. La característica principal de los *webinars* es la interactividad, permitiendo la comunicación entre los participantes, convirtiéndose de esta manera en un complemento perfecto para un aprendizaje mixto. En particular, el *webinar* como herramienta de comunicación síncrona permite a los alumnos disponer de una retroalimentación inmediata en diferentes formatos: interlocutor frente a varios participantes en una misma ubicación, interlocutor frente a varios participantes en múltiples ubicaciones o múltiples

interlocutores desde una ubicación frente a varios participantes de una o múltiples ubicaciones (Mohorovii y Tijan, 2010; S. Wang y Hsu, 2008).

Entre las herramientas disponibles en el ámbito de las disciplinas científico-tecnológicas en Educación Superior destacan las animaciones interactivas (*applets*) en Matlab (Dimitrijević, 2000). Permiten facilitar la comprensión de los fenómenos físicos característicos de la fabricación y operación de dispositivos electrónicos por parte de los alumnos mediante una descripción visual que complementa a su descripción analítica convencional. La elección de Matlab como recurso tecnológico para adaptar los *applets* que apoyan las clases magistrales y para visualizar los casos reales de estudio se motiva principalmente por tres razones:

- Es ampliamente conocida y usada en ciencia y tecnología.
- Existe un amplio catálogo de *applets* de acceso libre en temas afines (física, matemáticas,...).
- Hay versiones con precio reducido para alumnos.

Otro tipo de recurso docentes basado en TICs son las páginas web tipo Wiki, que son páginas web en las que los usuarios crean, modifican o borran el texto que están compartiendo. Ofrecen a los múltiples usuarios un potencial pedagógico muy importante ya que abren nuevas formas de trabajar, comunicarse y aprender.

Además, la edición permite la inserción de enlaces a otras páginas de la misma Wiki o a otras páginas de Internet, así como añadir distintos archivos multimedia (dibujos, películas, sonidos, documentos,...). Esta herramienta está especialmente bien adaptada para lo que se conoce como enciclopedias colectivas, cuyo contenido se crea por la comunidad de Internet y están en continuo proceso de crecimiento y evolución. Su facilidad de uso la hace una herramienta muy llamativa para que los estudiantes elaboren su propio conocimiento y lo pongan a disposición de sus pares (incluyendo a las futuras promociones de estudiantes, que pueden completar y extender la Wiki). El uso de Wikis como herramienta pedagógica promueve el aprendizaje activo, así como mejora y estimula la cooperación a través de Internet.

Los apuntes o libro digital enriquecido actúan como un elemento clave en la presentación de los distintos temas del curso y permite incorporar contenidos avanzados con mayor efectividad pedagógica. Los contenidos multimedia incluidos deben estar orientados a reforzar conocimientos, profundizar en conceptos y mostrar aplicaciones reales.

Los dispositivos móviles actuales incorporan numerosas y avanzadas aplicaciones que los dotan de características como la conectividad, geolocalización, grabación y creación, entre otras, convirtiéndolos en los agentes ideales de un proceso de aprendizaje ubicuo. En distintos informes que analizan la Educación Superior actual se desprende el papel clave que los dispositivos móviles desempeñarán en el nuevo concepto educativo (Ally y Tsinakos, 2014; Camacho y Tíscar, 2011). Sin embargo, todavía no hay muchas experiencias en *m-learning* para la enseñanza de las Ciencias (Zydney y Warner, 2015) y menos en Educación Superior (Cheon y col., 2012; Motiwalla, 2007). La utilización en dispositivos móviles de apuntes enriquecidos y libros electrónicos, incluyendo recursos multimedia (vídeo, audio, interactividad y navegación avanzada) favorecen un aprendizaje adaptado e interactivo.

Uno de los problemas principales sobre el uso de recursos multimedia en educación y particularmente en Educación Superior es cómo facilitar su acceso cuando son más relevantes. A pesar de que existen formatos digitales (apuntes enriquecidos, libros electrónicos o prestaciones multimedia) que permiten colocar enlaces a los contenidos multimedia, todavía hay muchos materiales de aprendizaje que no son digitales y que por lo tanto no permiten la inclusión de estos enlaces. Éste es el caso, por ejemplo, de muchos manuales de referencia y libros, tradicionalmente incluidos en medios alternativos como DVDs o páginas web diseñadas como repositorio.

En este contexto, las aplicaciones de realidad aumentada (RA) cobran relevancia, ya que permiten combinar información digital y física en tiempo real utilizando dispositivos móviles. En este sentido, la realidad aumentada aporta importantes ventajas al campo de la educación porque permite ofrecer información contextualizada y presentarla donde y cuando es más significativa en el proceso de aprendizaje. Una de las realizaciones más comunes de RA son códigos de respuesta rápida (códigos QR). Los códigos QR aparecieron como evolución de los códigos de barras, en forma de matrices en dos dimensiones. Son de código abierto y sin licencia, y entre sus muchas ventajas se puede destacar que son fáciles de usar y que pueden almacenar gran cantidad de información, lo que se identifica como de gran potencial en el campo de la educación (Kossey y col., 2015; Law y So, 2010).

Entre las herramientas educativas 2.0 que permiten desarrollar entornos de aprendizaje enriquecido se encuentran las *WebQuest*, estrategia didáctica que permite una investigación dirigida y que fomenta un aprendizaje real y significativo en el alumno en temas específicos. Fue propuesta en el año 1995 por Bernie Dodge, quien, consciente del enorme potencial del incipiente Internet la definió como una actividad orientada a la investigación donde toda o la mayor parte de la información que se utiliza procede de recursos de la Web.

En particular, las *WebQuest* han sido ideadas para que los estudiantes hagan buen uso del tiempo, se centren en cómo utilizar la información más que en su búsqueda, y reciban apoyo en el desarrollo de su pensamiento en los niveles de análisis, síntesis y evaluación (Dodge, 1995).

Además de la definición de Dodge, otros autores como March (2003) se vieron obligados a aclarar, ante la proliferación de actividades con la apariencia de *WebQuest*, que las verdaderas *WebQuest* son estructuras de aprendizaje andamiado que utilizan enlaces a recursos esenciales de la Web y proponen tareas auténticas para motivar al alumnado a que investigue una pregunta central de respuesta abierta.

### 3.3.3. Evaluación de los modelos mentales de los alumnos tras el uso de los recursos

Podemos definir el proceso de evaluación del conocimiento y su adquisición como el proceso de obtención de información y su uso para formular juicios que a su vez se utilizarán para tomar decisiones (Stufflebeam y Coryn, 2014; Tenbrink, 1981). Así, la evaluación no debe considerarse como una actividad aislada y un fin en sí misma, debiendo ser llevada a cabo en diversos momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje: su objetivo es tomar decisiones informadas sobre todos los componentes del proceso, sus efectos o resultados, procedimientos, agentes y protagonistas.

El tipo de decisiones a tomar, como objetivo final del proceso de evaluación, condiciona el tipo de información a recoger, las circunstancias de su obtención y los procedimientos a utilizar (Barberá, 1999).

La evaluación educativa, históricamente, se había centrado en el control de los resultados del aprendizaje. Posteriormente, desplazó su preocupación a los procesos de petición de responsabilidades (*accountability*), lo que significaba implicar a toda la comunidad educativa en la responsabilización de la consecución de la calidad de los procesos y los resultados educativos. En los últimos años se ha establecido definitivamente la importancia de asociar los procesos evaluadores a los de desarrollo y potenciación de nuestra capacidad para aprender (Martínez Martínez, 2010).

La formación orientada a la adquisición de competencias supone un cambio de paradigma mucho más profundo de lo que muchas veces se percibe. La evaluación de las competencias alcanzadas por el estudiante no sólo tiene el punto de vista

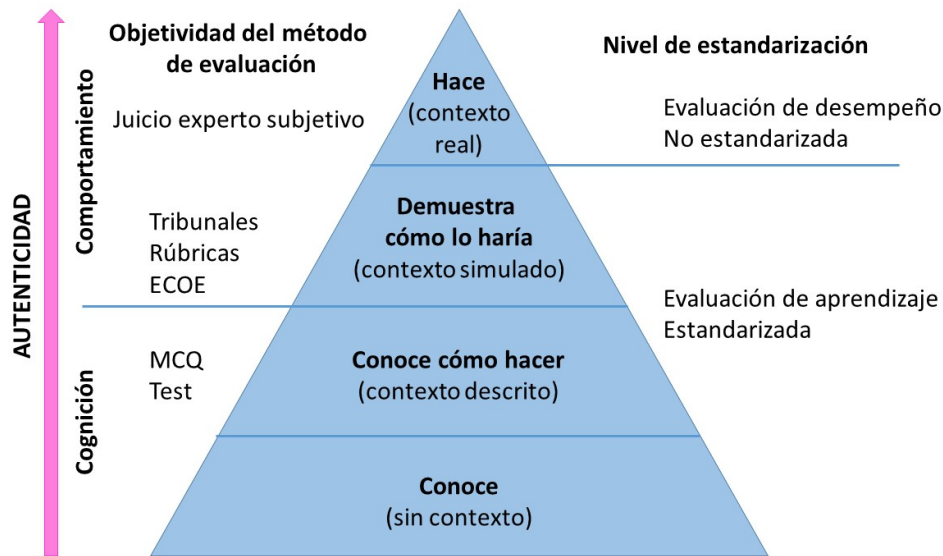
de la evaluación de los resultados individuales del aprendizaje, sino que también adopta el punto de vista institucional, es decir, la calidad de una institución está asociada al grado en que logra que sus graduados sean competentes en lo que se describe el perfil de formación.

Para ello hay que establecer los resultados de aprendizaje, es decir, los resultados observables, qué tipos de evidencias se generan y su forma de recogerlos para evaluar el logro de las competencias asociadas: en nuestro caso concreto, del modelo de semiconductor construido en cada una de las actividades evaluadas. No debemos olvidar, además, que la competencia no puede ser observada directamente, sino inferida por el desempeño o acciones específicas, lo que hace que el diseño de la evaluación sea el elemento más complejo de un proceso de formación por competencias.

La determinación del tipo de instrumento que hay que aplicar para recoger evidencias, depende fundamentalmente de la naturaleza del resultado de aprendizaje que se desee evaluar. Y aunque estrictamente la competencia sólo se puede evaluar en la acción, para poderla adquirir es necesario haber alcanzado previamente una serie de conocimientos, habilidades y actitudes que tendremos descritos, bien de acuerdo con los resultados de aprendizaje o en términos de objetivos, según nuestra perspectiva sea lo que el profesor pretende o bien lo que deberá demostrar el estudiante. Cada uno de ellos estará relacionado con el modelo mental que se persigue alcanzar.

La pirámide de Miller (Miller, 1990) puede ser una manera útil de ayudar a elegir estrategias de evaluación coherentes con resultados de aprendizaje descritos por el profesor. Miller estructuraba la evaluación de las competencias en cuatro estadios o etapas, de tal manera que en el vértice del triángulo se ubicaba el hacer y en la base el saber, tal y como se muestra en la Figura 3.3.

De este modo, se puede evaluar sólo el hecho de saber (por ejemplo, mediante de una prueba tipo test) o el hecho de saber explicar, que ya requiere una gestión del conocimiento adquirido; o bien se puede plantear una simulación en la que el estudiante actúe en situaciones controladas, y, finalmente, en la cúspide de la pirámide, el saber hacer (*doing*) en la práctica profesional (Tejada Fernández, 2011). Estaríamos pues ante una actuación real, en un contexto o situación profesional de desempeño y en el momento de evidenciar la competencia (hay que demostrar la adquisición de una competencia en varias actuaciones).



**Figura 3.3.:** Pirámide de Miller. Describe cuatro niveles en los que se produce la adquisición de competencias, en orden de elaboración, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje

De forma general, podemos distinguir tres tipos de evaluación del aprendizaje. Al inicio del proceso formativo, diagnóstica, y tiene como objetivo valorar el nivel de conocimientos de los estudiantes sobre el tema en cuestión.

Cuando la evaluación se realiza del aprendizaje como proceso, se obtiene lo que se denomina una evaluación formativa. Su objetivo es suministrar información útil que nos lleve a determinar en qué puntos es deseable modificar el proceso de enseñanza-aprendizaje (métodos didácticos, objetivos, planificación o ciertas características del docente) con el propósito de mejorarlo. Además, también se busca que el alumno pueda evaluar su propio modelo mental, es decir conocerlo, ponerlo a prueba y así descubrir sus debilidades.

Si la evaluación se realiza del aprendizaje como producto (los objetivos que el alumno ha alcanzado), se efectúa una evaluación sumativa, cuya función es establecer una calificación para el alumno que indique el grado en el que ha alcanzado los objetivos que se pretenden en la asignatura.

Debemos de tener en cuenta que evaluar un proceso de enseñanza-aprendizaje sirve para determinar los aprendizajes conseguidos en función de los objetivos que tenemos marcados, y para ello el proceso evaluativo deberá ser continuo para aportar la realimentación necesaria al proceso de adquisición de conocimientos, comprensivo (que abarque todos los objetivos propuestos, tanto cognitivos como de habilidades o afectivos), y diversificado en métodos. Por lo tanto, se pone de



manifiesto que la evaluación es un proceso crítico y que es también una actividad de aprendizaje, por lo que debe proporcionar realimentación sobre el proceso y producto.

En esta investigación se han diseñado las pruebas de evaluación de manera específica para conseguir los objetivos de aprendizaje marcados en cada actividad; es decir, en cada actividad se recogen datos de investigación distintos (cuestionarios, problemas, grabaciones de audio y vídeo que se transcriben, etc.). La investigación, de carácter cualitativo, analiza las relaciones que el alumno establece con el modelo mental que tiene previo al desarrollo de cada actividad. Es decir, a través de un andamiaje basado en la secuencia diseñada, se van a analizando los modelos que el alumno construye como resultado de la realización de cada actividad. A continuación se describe la secuencia diseñada para tal fin.

En primer lugar era necesario determinar las dificultades que encuentran los estudiantes en la construcción de los modelos. La herramienta elegida para llevar a cabo esta evaluación diagnóstica fue la encuesta. Su elaboración fue una tarea compleja debido a que la precisión y representatividad de los resultados depende en gran medida de su diseño y de los objetivos buscados.

En este sentido, como primer paso se determinó que la metodología para crear la encuesta seguiría una estrategia clásica donde las primeras fases serían el diseño del cuestionario, la aplicación del cuestionario o trabajo de campo, la codificación de las preguntas y la edición del cuestionario. Una vez realizado esto, el cuestionario se validó por expertos y se pasó la encuesta a los alumnos para posteriormente procesar y analizar los datos obtenidos, y realizar la evaluación general.

Por su parte, los conceptos presentados en la encuesta corresponden a una selección realizada de acuerdo a consultas hechas en sesiones previas de tutoría académica, así como de errores conceptuales detectados en la evaluación.

Algunos criterios básicos se deben cumplir para formular las preguntas son que éstas tienen que ser:

- Claras y usando un lenguaje simple.
- Tan cortas como sea posible.
- Recursivas y que no incluyan más de una cuestión por ítem.
- Referentes al pasado inmediato para evitar recurrir a la memoria.
- Neutrales, sin sugerir la respuesta o interpretaciones erróneas.

- Formuladas usando sentencias positivas.

De acuerdo al objetivo y naturaleza del estudio, entre las posibles redacciones de las preguntas se eligieron solamente tres tipos:

- Preguntas cerradas: normalmente son más difíciles de escribir pero son sencillas de contestar y codificar.
- Preguntas de elección múltiple: permiten introducir tópicos específicos y realizar filtrado a la vez que recogen una gran cantidad de respuestas ya que tienen un elemento abierto.
- Preguntas de evaluación: permiten obtener una respuesta jerarquizable, por ejemplo mediante una escala de Likert.

Por otro lado, de entre los distintos tipos de cuestionarios para recoger la información se eligió un cuestionario auto-administrado dirigido a grupos ya constituidos pero garantizando el anonimato para asegurar que un número suficiente de estudiantes lo completan.


Para dotar al cuestionario de una mayor validez y fiabilidad, se llevó a cabo un pre-test con un mayor número de preguntas, que se pasó a colegas para eliminar aquellas que podían ser susceptibles de causar errores. Una vez validado, el cuestionario se pasó durante el tiempo de clase. Podemos ver parte del cuestionario en la Figura 3.4.

Para cada uno de los recursos generados y descritos en la Sección 3.3.2, así como el diseño de las estrategias didácticas metodológicas que se presentarán en el Capítulo 4 se ha establecido un proceso evaluativo específico que en algunos casos está íntimamente vinculado con los resultados de aprendizaje buscados. A continuación, vamos a llevar a cabo una descripción de los procesos empleados en dichos recursos y metodologías.

### ***m-learning.***

Para los recursos basados en el *m-learning*, como los apuntes enriquecidos, se ha llevado a cabo el diseño de actividades específicas en el que haya sido aconsejable la utilización del recurso generado.

Entre los resultados de aprendizaje a evaluar y como influye en la construcción del modelo se destaca la mejora del tratamiento experimental de los conceptos teóricos presentados en los apuntes enriquecidos y los resultados de una prueba sobre los temas tratados en las actividades interactivas. En particular, se han analizado tres resultados de aprendizaje: la caracterización de las propiedades

  
**ASIGNATURA TÉCNICAS FÍSICAS I (GRADO EN FÍSICA).**  
**CUESTIONARIO 1**

La finalidad de esta encuesta es que puedas contribuir con tu experiencia y punto de vista a mejorar la asignatura para los próximos años.

La encuesta es anónima, pero las primeras preguntas sobre tu situación particular servirán para determinar si tus opiniones coinciden o difieren con las de otros alumnos en condiciones análogas a las tuyas.

El cuestionario consta de tres bloques. El bloque A, contiene preguntas sobre la asignatura en general. El bloque B está dedicado a las clases y la forma en la que se desarrollan. Y por último el bloque C recoge una serie de preguntas sobre un tema específico de los presentados en el programa de la asignatura y su propósito es diagnosticar el grado de dificultad que puede suponer para un alumno.

Para poder tener un análisis fidedigno de los datos arrojados es necesario que contestes a todas las preguntas de los tres bloques con la mayor sinceridad posible.

**Bloque A. General**

1.- ¿Cómo has accedido a esta asignatura?

Primer curso aprobado  
 Con más del 75% de primer curso aprobado  
 Con más del 50% de primer curso aprobado  
 Repito matrícula en esta asignatura

2.- Indica si tu situación laboral —o personal en general— hace que no tengas el tiempo que sería necesario para.

Asistir a las Clases  
 Asistir a tutorías  
 Trabajar la asignatura en casa

3.- Asisto a clase:

Todos los días  
 Casi siempre  
 Con bastante frecuencia  
 Alguna vez  
 Nunca

**Bloque C. Especifica de contenidos. Temática: Diagramas de Bode**

1.-El estudio del comportamiento dinámico de los sistemas me resulta:

Muy difícil  
 Difícil  
 Asumible  
 Fácil  
 Simple

2.-Identifico un sistema en RSP

Siempre  
 Casi sin dificultad  
 En la mayoría de las ocasiones  
 Con dificultad  
 Nunca

3.-Dada una función de transferencia, soy capaz de determinar los límites asintóticos:

Siempre  
 Casi sin dificultad  
 En la mayoría de las ocasiones  
 Con dificultad  
 Nunca

4.-Dada una función de transferencia,  $H(s)$ , de segundo orden soy capaz de:

Determinar las frecuencias críticas  
 Representar el diagrama asintótico en magnitud y en fase  
 Representar el diagrama asintótico en magnitud  
 Representar el diagrama asintótico en fase  
 Nada de lo anterior

**Figura 3.4.:** Cuestionario desarrollado.

básicas del transporte de electrones en semiconductores, la derivación de modelos incrementales para pequeña señal y el análisis del comportamiento de configuraciones amplificadoras para pequeña señal.

La evaluación se realiza mediante varias acciones conducentes a evaluar el progreso de los estudiantes en la construcción de modelos, y sirven de hitos para una planificación adecuada de su trabajo. Ejemplos de estas actividades son: resolución de cuestionarios diseñados específicamente, uso de aplicaciones concretas y realistas o resolución de problemas utilizando *applets* de Matlab. En cada una de las actividades diseñadas se propone también un ejercicio de auto-evaluación que permite a los estudiantes tener información inmediata sobre su proceso de aprendizaje, fomentando tanto sus capacidades metacognitivas como la integración de la evaluación como una actividad más del proceso de aprendizaje (evaluación formativa).

También se llevó a cabo una comparativa de los resultados obtenidos en diferentes pruebas evaluativas de años anteriores que recojan los conceptos presentados en los apuntes enriquecidos. Dado que la aplicación no se circunscribe a una metodología específica aplicada a una asignatura en particular, sino que abarca múltiples escenarios (asignaturas) y usuarios (algunos de distinto nivel), no es fácil evaluar cuantitativamente los beneficios obtenidos por la aplicación de la estrategia de aprendizaje propuesta.

Por último, para evaluar la capacidad de uso de los libros electrónicos, sería adecuado plantear un estudio cuantitativo sobre el tiempo que cada estudiante dedica en promedio al uso de los diferentes recursos. Como complemento para obtener información sobre el proceso de aprendizaje también se ha diseñado una encuesta de satisfacción en la que se presentará un conjunto de afirmaciones sobre el impacto de la actividad propuesta a los estudiantes, a quienes se pedía que indiquen su grado de satisfacción o de acuerdo.

Una de las técnicas de medición y evaluación empleadas en el ámbito de los productos tecnológicos y de la información está basada en la práctica de la usabilidad (Montero, 2006). Su definición formal nos ofrece una serie de componentes o variables: facilidad de aprendizaje (*learnability*), eficiencia, cualidad de ser recordado (*memorability*), eficacia y satisfacción. A partir de estas características la usabilidad puede ser medida y evaluada facilitando así la mejora de la experiencia del individuo destino de la acción.

Entre los aspectos de interés, que serán luego analizados, sobre la utilización de los apuntes enriquecidos en formato *e-book* se preguntará si:

- Son fáciles de usar.
- Presentan la información pertinente.
- Fomentan la adquisición de conocimientos.
- Permiten un uso más eficiente del tiempo que los apuntes de clase tradicionales.
- Muestran una información que no se obtiene con los apuntes tradicionales.

### **Webinars**

Uno de los métodos previstos para evaluar el grado de consecución de los objetivos propuestos en esta acción docente es el diseño de ejercicios de autoevaluación y aprendizaje basado en problemas (ABP) relacionados con los items mostrados en los *webinars*, disponiendo de un registro del proceso.

A lo largo del curso se integra un sistema de autoevaluación consistente en un conjunto de preguntas cortas o tipo test diseñadas para los distintos *webinars* de ambos módulos. De esta forma, los alumnos tienen una retroalimentación inmediata sobre su proceso de aprendizaje fomentando sus capacidades metacognitivas (Dochy y col., 1999).

Otro método de evaluación consistió en la realización de varias encuestas elaboradas *ad-hoc* en las que, además de preguntas enfocadas a conocer la opinión de los alumnos sobre el desarrollo de la actividad, se brinda a los alumnos la oportunidad de reflexionar sobre su conocimiento de la materia impartida y sobre la influencia que han tenido las actividades programadas.

En particular, se pide a los alumnos que evalúen si son capaces de:

- Describir el principio de operación de los principales sistemas microelectrónicos.
- Enumerar y justificar las distintas etapas en el proceso de fabricación de estos sistemas.
- Enumerar sus principales campos de aplicación y analizar el papel que desempeñan.
- Reconocer y manejar a nivel básico las principales herramientas informáticas utilizadas en el diseño y simulación de sistemas microelectrónicos.
- Acometer el diseño de un sistema microelectrónico sencillo acorde a unas especificaciones.

- Valorar si las actividades programadas han contribuido a mejorar su comprensión de la materia y sus habilidades y si han aumentado su interés por la materia.

### **Realidad aumentada y códigos QR**

Además de los beneficios asociados con el *m-learning*, tales como acceso inmediato, interacción y personalización, e individualización del aprendizaje, esta metodología aplicada al laboratorio genera una mejora en la autonomía de los estudiantes para adquisición de competencias experimentales, ya que disponen en todo momento de un recurso activo de ayuda, particularizado al instrumento y al proceso de medida utilizado.

El recurso generado, códigos QR que enlazan a contenidos multimedia desarrollados específicamente para redundar en una mejora en el aprovechamiento del tiempo dedicado al laboratorio y en un aprendizaje más significativo, debe ser evaluado y, además, desde una perspectiva múltiple, que abarque tanto los aspectos pedagógicos, tecnológicos o de interacción con la herramienta.

Entre las estrategias diseñadas para evaluar cómo la acción implementada, la generación de un conjunto de contenidos multimedia aplicados a un laboratorio de Electrónica y su accesibilidad mediante códigos QR, mejora el proceso de aprendizaje en el laboratorio, podemos destacar una comparativa entre el tiempo invertido en realizar las sesiones prácticas con ayuda del material enlazado mediante los códigos QR y el registro que se tiene de ediciones pasadas, en las que no se disponía de dichos contenidos multimedia.

Basándonos en las seis características básicas que el estándar internacional para la evaluación de la calidad de productos software ISO 9126 establece como criterios de calidad, hemos seleccionado aquellas dimensiones que se ajustan mejor a nuestro recurso acotándolas adecuadamente y definiendo las preguntas correspondientes en cada dimensión. De esta manera, se ha elaborado un test para tal fin, cuyo extracto puede observarse en la Fig. 3.5.

En líneas generales, podemos indicar que las preguntas más relevantes planteadas tienen por objetivo conocer si:

- El acceso al contenido multimedia enlazado es rápido, fiable y consistente.
- El contenido multimedia enlazado es compatible con su visionado tanto en teléfonos inteligentes como tabletas.

<b>FUNCIONALIDAD (25 %)</b>
<p><b>Idoneidad</b>            Se muestra información sobre la vigencia de los contenidos presentados.....            Los contenidos están definidos acorde al nivel.....            Se presentan ejemplos relevantes para ilustrar los contenidos.....</p> <p><b>Exactitud</b>            El contenido abordado facilita el logro de los objetivos planteados.....            Los contenidos multimedia ayudan a comprender los contenidos abordados.....            El contenido multimedia presenta la información de manera concisa.....</p>
<b>EFICIENCIA (20%)</b>
<p><b>Uso y Comportamiento de los Recursos</b>            El acceso al contenido multimedia enlazado es rápido.....            La velocidad de ejecución de los procesos es igual en distintos soportes.....            El tiempo de uso del recurso es adecuado.....</p>
<b>U S A B I L I D A D (20%)</b>
<p><b>Comprensibilidad</b>            El contenido multimedia permite profundizar la información .....            Se presentan los contenidos de una forma estructurada y organizada.....            Se proporciona un enlace a información relevante.....</p> <p><b>Facilidad de Aprendizaje</b>            La estructura de los contenidos es consistente y coherente.....            No es necesario conocimiento o entrenamiento previo para utilizar el recurso...            El recurso generado motiva al estudiante.....</p>
<b>CONFIABILIDAD (10 %)</b>
<p>En caso de error se puede continuar .....</p>
<b>MANTENIBILIDAD (5%)</b>
<p>El contenido multimedia es autocontenido.....            El contenido multimedia puede modificarse sin dificultad.....            El contenido multimedia se puede ubicar fácilmente.....</p>
<b>PORTABILIDAD (20%)</b>
<p>El contenido multimedia no requiere ningún software.....            El contenido multimedia puede ser visualizado en distintos navegadores.....            El contenido multimedia es compatible con teléfonos inteligentes y tabletas.....            Se necesitan requerimientos técnicos específicos.....</p>

**Figura 3.5.:** Test elaborado para evaluar la calidad del software según el estándar ISO 9126.

- El contenido multimedia enlazado es conciso, fácil de seguir y está claramente explicado.

Por otro lado, existe una fuerte correlación entre la motivación y satisfacción de los estudiantes y el éxito de las actividades de aprendizaje virtual, ya que se asocian a un mayor aprovechamiento de los estudiantes (Regueras y col., 2009).

En este sentido, se ha diseñado una encuesta específica para obtener información acerca de los resultados de la actividad propuesta, en la que se presenta a los estudiantes una serie de afirmaciones antes las cuales deben indicar su grado de acuerdo siguiendo una escala de Likert.

De entre los aspectos de interés del uso de los nuevos contenidos multimedia enlazados mediante códigos QR que se investigan en la encuesta, se ha preguntado si:

- El recurso proporciona enlaces a información relevante.
- El recurso facilita la consulta de los manuales.
- El recurso facilita el proceso de medida.
- El contenido multimedia enlazado produce un mejor aprovechamiento del tiempo en el laboratorio.
- El recurso minimiza el tiempo que empleo en buscar información.
- El contenido multimedia enlazado mejora los resultados en el laboratorio.

### ***WebQuest***

Las *WebQuest* tienen su propia evaluación de producto mediante una serie de rúbricas estandarizadas (March, 1998), y se tienen en cuenta aspectos como: un comienzo atractivo; la calidad de la pregunta-tarea; base de conocimiento común para todo el grupo; definición de roles; retroalimentación del mundo real y conclusión de la *WebQuest*. De acuerdo a los puntos y recomendaciones que menciona March, destacamos la importancia que tiene un comienzo atractivo para los alumnos, con una motivación desde el inicio de la actividad.

En resumen, se ha diseñado una secuencia de 5 actividades específicas tal y como se muestra en la Figura 3.6. En el capítulo de resultados (Capítulo 5) se explican las evaluaciones diseñadas para recoger información relativa al modelo construido tras la aplicación de cada una de estas actividades.



<b>ACTIVIDAD 1: El transistor como herramienta</b>	
Diseño de recursos de <i>m-learning</i>	<i>e-book</i> para presentar de forma contextualizada y visual temas de semiconductores <i>Applets</i> para analizar el comportamiento del semiconductor modificando variables
<b>ACTIVIDAD 2: Actividades experimentales</b>	
Diseño de herramientas de realidad aumentada	Códigos QR con enlaces a materiales para una formación de andamiaje para el alumnado
<b>ACTIVIDAD 3: Aplicación a sistemas caóticos</b>	
Diseño de una WebQuest	Contextualización de los semiconductores mediante una implementación práctica (sistema de encriptación/desencriptación caótico)
<b>ACTIVIDAD 4: Sistemas MEMS</b>	
Diseño de una actividad teórico-práctica basada en MEMS	Contextualización de los semiconductores mediante una aplicación comercial (acelerómetro MEMS y mando de la videoconsola Wii)
<b>ACTIVIDAD 5: Generalización de aprendizajes</b>	
Diseño de seminarios web ( <i>webinars</i> )	Generalización de los semiconductores mediante contenidos de tipo divulgativo (proceso de diseño y fabricación, aplicación industrial y de consumo...)

**Figura 3.6.:** Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos.



## Estrategias didácticas para la construcción de modelos de conocimiento en Electrónica

En toda enseñanza, la definición de objetivos didácticos constituye una guía para la elección de los métodos docentes, las actividades de aprendizaje de los alumnos y los sistemas de evaluación del rendimiento, estableciéndose así una relación entre lo que se enseña y lo que se evalúa, lo que se conoce como Conocimiento Didáctico del Contenido. Esto es debido a que, en el campo educativo, los objetivos son los resultados que esperamos obtener como consecuencia de nuestra actividad docente. El agente de los objetivos no es el docente, sino el discente. Además, deben ser acciones fácilmente observables (de tipo cognoscitivo y, más difícilmente, emocional) ya que son aquello que se usará en el proceso de evaluación.

Pero estos objetivos no pueden formularse sin partir del contexto en el que se va a desarrollar la asignatura, donde el plan de estudios al que pertenece (y por lo tanto las competencias que ya están diseñadas) y variables como alumnos, curso y centro tienen que ser objeto de identificación y análisis previo. Un proyecto docente no debe ser sólo el conjunto de contenidos organizados que se imparten en un cierto orden para que tengan sentido. Es, además, una reflexión sobre el contexto que los rodea y que de forma significativa condiciona su estructura, y todo ello en el marco del cambio de la universidad del saber a la universidad del aprender con las repercusiones en las metodologías de enseñanza-aprendizaje que esto conlleva.

El aprendizaje se convierte entonces en el objetivo básico de la enseñanza universitaria, y la sociedad del conocimiento demanda una tendencia clara hacia una integración entre lo académico y lo profesional, un conocimiento en permanente construcción que genere aprendizajes significativos y donde el alumno sea el protagonista. Todo ello ha supuesto un cambio sustancial tanto en la elaboración de los programas, poniendo el foco en las competencias en vez de los objetivos, como en el diseño de la metodología, estrategias y actividades formativas que permitan la consecución de esas competencias.

## 4.1. Proceso de aprendizaje por competencias

En el ámbito actual de los nuevos grados ha sido necesario un proceso continuo de innovación pedagógica y renovación de medios docentes, propiciando que se desarrollen las competencias específicas y genéricas requeridas en cada titulación e integrándolas en una Sociedad de la Información y del Conocimiento (Bransford y col., 2000). Así, se debe apostar por proporcionar las herramientas más adecuadas para profundizar en los principales conceptos que aparecen en las nuevas asignaturas desde una perspectiva donde la forma en que se aprende es tan importante como el qué se aprende. Para lograrlo es esencial el diseño de una metodología de enseñanza que ponga el foco de atención en el alumno, contemplando el estilo de aprendizaje propio de cada estudiante.

Esto ha llevado a una nueva concepción académica donde el proceso de enseñanza-aprendizaje debe garantizar el desarrollo de las competencias específicas y genéricas (instrumentales, interpersonales y sistémicas) requeridas en cada titulación (Bransford y col., 2000). También habrá que diseñar en este nuevo modelo la evaluación por competencias y actividades donde se impondrán métodos activos de aprendizaje (Adúriz-Bravo, 2001; De la Cruz Tomé, 2003). Entre los elementos que incluyen este cambio de paradigma podemos destacar: una educación centrada en el estudiante y una elección de metodología que se adecue a la estrategia de aprendizaje.

Las ventajas que aporta la elección de competencias como puntos dinámicos son muchas, pero es interesante resaltar algunas de ellas:

- Fomenta la transparencia en los perfiles profesionales y académicos de las titulaciones y programas de estudio, y favorece un énfasis cada vez mayor en los resultados.
- Ayuda al desarrollo de un nuevo paradigma de educación primordialmente centrado en el estudiante, y la necesidad de encauzarse hacia la gestión del conocimiento.
- Satisface las demandas crecientes de una sociedad de aprendizaje permanente y de una mayor flexibilidad en la organización del mismo.

La conclusión que podemos extraer es que una formación por competencias exige a profesores y a alumnos un cambio profundo de sus concepciones y de sus prácticas habituales. Este proceso involucra claramente a dos agentes: por un lado, el alumno,

receptor activo de los objetivos previamente establecidos, y por otro el profesor, cuya misión es conseguir que el alumno los alcance.

Atendiendo a la mayor o menor importancia de ambos agentes en el proceso, éste puede ser parcialmente descrito por teorías conductistas y cognitivas (Good y Brophy, 1996). En este nuevo enfoque, el protagonista del aprendizaje es el propio aprendiz. El papel del profesor es acompañar, guiar, evaluar, apoyar al aprendiz mientras sea necesario. El profesor va cediendo terreno a favor del alumno que va logrando autonomía e independencia en su aprendizaje. La tarea fundamental del profesor es enseñar al estudiante a aprender a aprender, ayudar al alumno en la creación de unas estructuras cognitivas o esquemas mentales que le permiten manejar la información disponible, filtrarla, codificarla, categorizarla, evaluarla, comprenderla y utilizarla pertinentemente.

La importancia en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumno/profesor se ve incrementada/reducida conforme avanzamos desde el aprendizaje memorístico, en el que es responsabilidad del profesor el condicionar al estudiante a que alcance cada objetivo, hasta el significativo por descubrimiento, en el que el profesor sólo sirve de guía, y es el alumno el que debe llevar a cabo la parte más importante del proceso.

Para ello es importante conocer las cualidades de ese aprendizaje significativo (Ausubel y col., 1976) como objeto básico de la enseñanza universitaria, el cual proporcionará un elevado grado de autonomía en el alumno. Un aprendizaje reflexivo, responsable, permanente y cooperativo (Monereo y Pozo, 2003) condiciona el proceso de enseñanza y el grado de consecución de los objetivos, tanto a nivel de asignatura como a nivel de proyecto formativo.

Idealmente, en el transcurso del proceso de enseñanza-aprendizaje la responsabilidad debe evolucionar, de manera que en el comienzo debe ser el profesor el que lleve la parte más activa, para finalmente ir transfiriendo esa importancia gradualmente al discente. Sin embargo, este tipo de dinámica no siempre es posible dadas las premuras de tiempo que suelen agobiar un curso, así como las usualmente altas densidades de los temarios. Por ello, suele ser común que las tres dinámicas coexistan a lo largo del proceso.

Aprender es el proceso de asimilar información con un cambio resultante en el comportamiento como resultado de la experiencia o la práctica. El aprendizaje es un proceso. Pero el aprendizaje humano va más allá de un simple cambio de conducta, conduce a un cambio en el significado de la experiencia, y esa experiencia tiene múltiples dimensiones o dominios (cognitivo, emocional y ambiental). Las

experiencias de aprendizaje son el resultado de la interacción del estudiante con el entorno de aprendizaje: escenarios, contenidos, agentes del proceso educativo, formas de organización y de trabajo, instrumentos, recursos y tareas de cada una de las actividades.

Como se describió en el Capítulo 1, el objetivo general de esta tesis será elaborar un marco de estudio, en el contexto del Grado en Física, donde se investigará sobre la construcción de modelos de conocimiento por parte de los alumnos.

Para ello se actuará desde el diseño, desarrollo y evaluación de distintas estrategias didácticas en el campo de la Electrónica en el contexto de la enseñanza universitaria. Se plantearán metodologías de enseñanza orientadas a mejorar la construcción del modelo de conocimiento y el proceso de aprendizaje basadas en las TIC. Al escoger la metodología docente que se aplicará durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (es decir, cómo llevaremos a cabo ese proceso), debemos tener en cuenta varios factores que sin duda acotarán nuestras opciones hasta prácticamente determinar las más adecuadas.

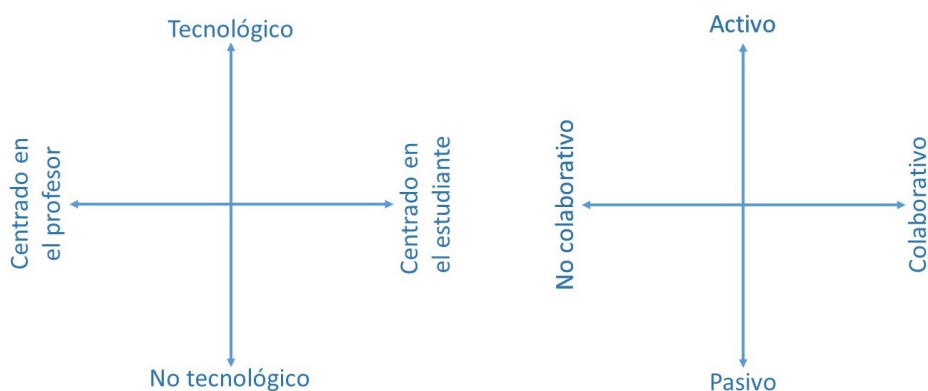
Estos factores están relacionados con los tipos de aprendizaje existentes, los objetivos didácticos que se pretenden, los diversos métodos didácticos y su relación con los objetivos, los medios materiales disponibles, así como la forma de valorar la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje.

## 4.2. Metodologías docentes

Las metodologías didácticas constituyen uno de los componentes básicos e imprescindibles de los proyectos formativos. Hay un número elevado de métodos de enseñanza (lección magistral, seminarios, aprendizaje basado en problemas, estudio de caso, debate, etc.), descritos en la literatura, pero pueden agruparse atendiendo a diversos criterios.

Uno de los criterios más utilizados (Shindler, 2009; Wright, 2011) analiza si el proceso de enseñanza-aprendizaje está centrado en el instructor o en el alumno. En realidad, esta división tiene en cuenta varios sub-aspectos tales como la capacidad de decisión y el poder; los objetivos y la intención, o las suposiciones básicas y la motivación (Shindler, 2009). De forma general, se puede decir que:

- En una enseñanza centrada en el instructor:



**Figura 4.1.:** Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes. A la izquierda se muestran las variables enseñanza centrada en el docente/alumno y grado tecnológico de la docencia y a la derecha las variables de implicación del alumno, en cuanto su actitud y relación con el entorno.

- El poder y la capacidad de decisión se concentra esencialmente en el profesor y los estudiantes siguen las instrucciones recibidas.
- El objetivo principal es el orden y el éxito se mide esencialmente en cómo los estudiantes ejecutan las instrucciones que reciben.
- Suele existir una preferencia por elementos motivadores externos (recompensas y castigos).
- En una enseñanza centrada en el estudiante:
  - El profesor asume un papel de guía y cede el poder y la capacidad de decisión a los estudiantes siempre que sea posible, quienes deben realizar decisiones significativas y resolver problemas complejos.
  - El objetivo principal es la auto-confianza de los estudiantes y el éxito se mide también en función de cómo los estudiantes crecen a nivel personal y colectivo.
  - Se intenta prescindir de los elementos motivadores externos y se busca incidir en las propias necesidades e intereses de los alumnos.

Por otro lado, estos dos enfoques pueden realizarse teniendo en cuenta e introduciendo en el aula novedades tecnológicas o no haciéndolo (Cuban, 1998; Gilroy y col., 2017). Esto hace que, de forma ortogonal a ello, se pueda definir una nueva dimensión en función del contenido tecnológico de las metodologías docentes, en función de si este contenido es elevado (*high tech*) o no lo es (*low tech*).

Otra posibilidad es analizar el papel que desempeña el alumno en el propio proceso de aprendizaje, tanto desde el punto de vista de su actitud personal como de su interacción con el entorno. De esta manera, se ha desarrollado la llamada *matriz de perspectivas* (Annan y col., 2016; Annan y col., 2011; Bowler y col., 2007), que establece dos continuos ortogonales en función de la actitud personal del estudiante en el proceso de aprendizaje, que puede ser *activa* o *pasiva*, y también en función de la relación con su entorno, que puede ser *colaborativa* o *no colaborativa*. De esta manera Bowler y col. (2007), en una enseñanza:

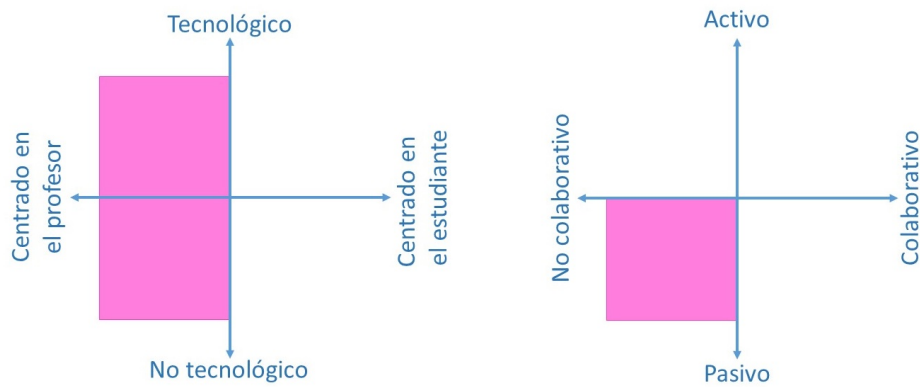
- Activa y colaborativa considera que el proceso de aprendizaje consiste en una interacción continua entre el alumno y su entorno. Exponentes de esta descripción son Vygotsky, Bandura o Bronfenbrenner.
- Activa y no colaborativa considera que el principal factor que interviene en el proceso de aprendizaje es el propio alumno, independientemente del entorno. Como ejemplos de esta línea podemos citar a Piaget, Kohler o Erikson.
- Pasiva y colaborativa considera que es el entorno quien tiene más influencia en el proceso de aprendizaje, y no tanto el propio alumno. Entre sus defensores se encuentran comportamentistas como Skinner, Watson o Pavlov.
- Pasiva y no colaborativa considera que el aprendizaje es un proceso predeterminado que no se puede interferir de manera significativa por parte del alumno ni del entorno en el que éste se desarrolla. Esta visión entronca con las escuelas maduracionistas (Gessell), evolucionistas (Darwin) y eugenicistas (Galton).

Se puede ver que la eficacia de un método de enseñanza es circunstancial y depende de diversos factores, de manera que distintas estrategias de aprendizaje favorecerán unas propiedades más que otras. Así, la pregunta que se plantea entonces un docente es qué método es el mejor y la respuesta es clara: ninguno en su totalidad. Es el profesor quien debe elegir el método o combinación de métodos que juzgue más adecuado a la consecución de los objetivos que pretenda lograr con los estudiantes.

En este sentido, sin embargo, es necesario tener en cuenta que los métodos donde la participación del alumno es mayor, y por tanto su implicación y compromiso, generan aprendizajes más profundos, significativos y duraderos, además de facilitar la transferencia a contextos más heterogéneos (Sanmartí, 2002; Tomé, 1981).

A continuación, describiremos los métodos docentes elegidos en función de los criterios establecidos con las dimensiones descritas anteriormente, y representados





**Figura 4.2.:** Cuadrantes descriptivos de la lección magistral como metodología docente.

gráficamente en la Figura 4.1, y cómo han sido adaptados para llevar a cabo las intervenciones en el aula en el marco de actuación de esta tesis.

Esto se ha llevado a cabo mediante la aplicación de recursos didácticos específicamente generados para ello, teniendo en cuenta lo recogido en la revisión bibliográfica a cerca del aprendizaje basado en la modelización. Es en el Capítulo 5 de esta tesis donde se presentan las acciones concretas, los recursos específicos generados y el proceso de intervención en el aula para cada una de las metodologías descritas a continuación, así como los resultados obtenidos al aplicarlas.

La elección del método didáctico que se utiliza en cada momento debe venir determinado por el tipo de objetivo que se persigue transmitir (cognitivo, de habilidad o de actitud). Por otro lado, la combinación de varios métodos en función de distintas finalidades a lo largo de la asignatura garantizará un mayor éxito, especialmente aquellos donde la participación del alumno es mayor y que generan aprendizajes más profundos, significativos y duraderos.

#### 4.2.1. Lección magistral

Es la técnica de enseñanza más utilizada en el mundo universitario. Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, podemos decir que la lección magistral típicamente es una metodología centrada en el profesor, con un perfil tecnológico variable ya que permite de forma sencilla introducir elementos tecnológicos en ella, y que fomenta un enfoque pasivo y no colaborativo por parte de los estudiantes, tal y como se ilustra en la Figura 4.2.

La lección magistral, aunque criticada, si se desarrolla bien permite al estudiante alcanzar eficazmente ciertos objetivos: adquirir información actualizada de forma

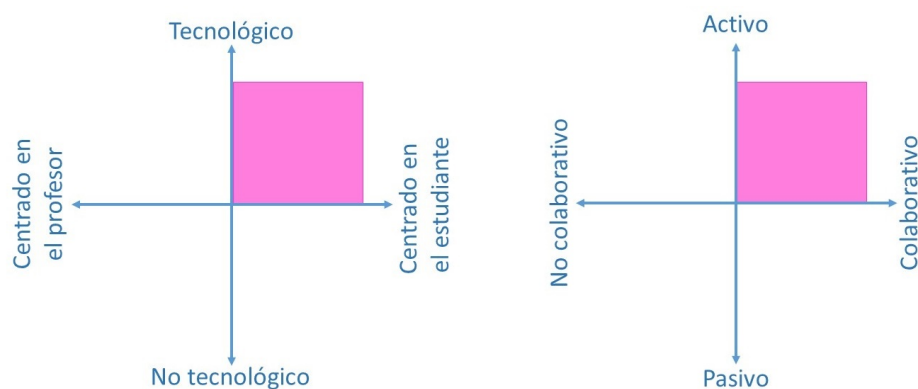
organizada, procedente de diversas fuentes y de difícil acceso para el alumno, facilitar la comprensión y aplicación de procedimientos específicos y elevar los niveles de motivación. Todo ello deriva en un modelo de base firme sobre el que cada alumno, a nivel personal, debe comenzar a construir su modelo final.

Para que la lección magistral sea efectiva es necesario que cumpla ciertas características:

- Debe estar bien preparada.
- Debe estar bien estructurada.
- Debe ser impartida con claridad, expresividad y entusiasmo.
- Debe dar oportunidad al estudiante para intervenir (convertirla en una lección magistral participativa).
- Debe fomentar situaciones en las que los alumnos colaboren para llegar a respuestas consensuadas y únicas.
- Debe establecer una secuencia de actividades para la resolución guiada de problemas a partir de la teoría.
- Debe despertar la necesidad de seguir aprendiendo.

De los puntos anteriores, es destacable la importancia que adquiere la interactividad y la integración del trabajo grupal en la lección magistral y en su contribución a la construcción de los modelos mentales de conocimiento. En este sentido, cabe recordar que numerosos autores inciden en que trabajar en grupo implica múltiples interacciones para aclarar y fijar objetivos, y ayuda a evaluar otros puntos de vista, lo que pone a prueba el modelo de cada uno (Brewer y Sawtelle, 2018; Clement, 2000; Hernández y col., 2015; Van Dinther y col., 2011; Wartono y col., 2018).

Otro elemento que adquiere relevancia en la capacidad de la lección magistral de contribuir a la construcción de los modelos mentales de conocimiento es la tutoría, tanto individual como colectiva. En este sentido, la secuenciación de actividades que realiza el profesor debe permitir a los alumnos que no logran resolverlas una profundización en sus conocimientos mediante la tutoría, tanto individual como grupal, antes de abordar de nuevo su resolución. Esta tutoría permite al profesor evaluar el punto en el que se encuentra el modelo y además guiar al grupo en su construcción, ya que de acuerdo a autores como Boettcher y Meisert (2011), Almodí-García y col. (2013), Coll y col. (2005) o Fagúndez y Castells (2012) la argumentación permite evaluar la coherencia del razonamiento y los datos empíricos.



**Figura 4.3.:** Cuadrantes descriptivos de las enseñanzas prácticas y de laboratorio.

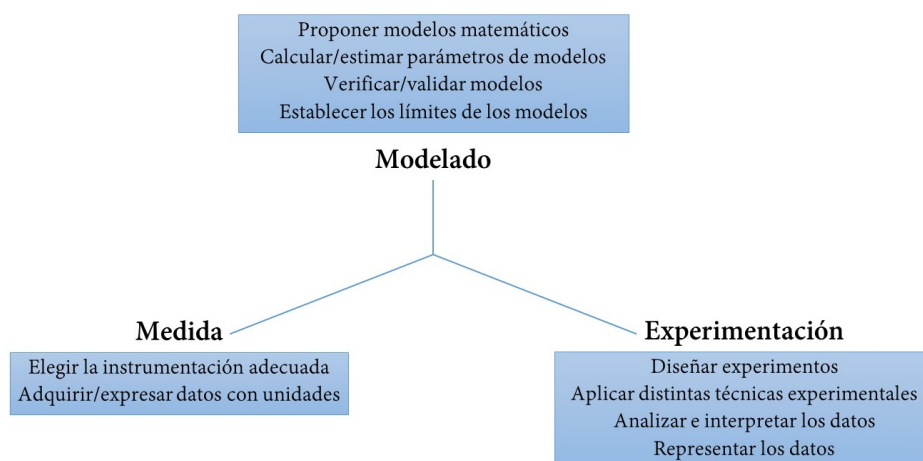
### 4.2.2. Enseñanza práctica y de laboratorio

Uno de los campos en los que se hace mayor hincapié en los planes de estudio de las disciplinas científicas y tecnológicas es la adquisición de competencias en el ámbito de la experimentación y del trabajo en el laboratorio. De esta manera, prácticamente desde el principio de sus estudios, los alumnos se enfrentan a sesiones prácticas en las que deben aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las distintas asignaturas a situaciones reales.

Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, podemos decir que la enseñanza práctica y de laboratorio es una metodología centrada en el alumno y con un perfil tecnológico alto, y que fomenta un enfoque activo y colaborativo por parte de los estudiantes, tal y como se ilustra en la Figura 4.3.

Además de competencias propias de cada titulación, como la operación con instrumentación específica, el manejo de hojas de características de componentes o la familiarización con las distintas medidas de seguridad que se aplican, los estudiantes adquieren competencias transversales como el trabajo en equipo, la redacción de informes de carácter técnico e, incluso, el trabajo por objetivos y por plazos, ya que las prácticas tienen una duración limitada en el tiempo.

Todos ellos son altamente valorables en el ámbito profesional, y, al igual que sucede en un entorno profesional, se espera de los alumnos que sean capaces de resolver las cuestiones planteadas haciendo uso de sus conocimientos, pero también de los recursos que tienen a su alcance. Así, esta enseñanza resulta eficaz para adquirir destrezas instrumentales, aprender a utilizar el método científico, entrenarse en la resolución de problemas y desarrollar actitudes profesionales específicas.



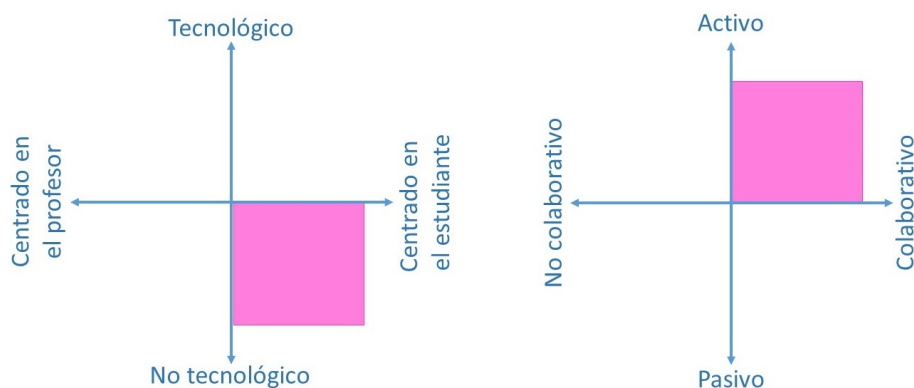
**Figura 4.4.:** Desglose de los componentes competenciales del método científico.

La realización de prácticas de laboratorio implica para el docente unas exigencias que no resultan menores que las de la docencia teórica. Al igual que en ésta, resulta importante la preparación, realización y evaluación de la enseñanza de laboratorio. De esta forma, alcanzaremos el objetivo principal de este tipo de enseñanza: que el estudiante aprenda por sí mismo, de forma individual o en grupos pequeños, mientras realiza las actividades diseñadas por el profesor para ese objetivo. Las tareas y guías que se suministran al alumno deben permitirle experimentar con la información de que dispone.

En esta metodología, en particular en el contexto de enseñanzas científico-técnicas, es importante que el alumno adquiera la competencia general de aplicar el método científico además de las específicas de cada asignatura y materia. Para facilitar la comprensión, el desarrollo y la evaluación de esta competencia específica se identifican una serie de componentes, llamadas componentes competenciales, que se pueden observar en la Fig. 4.4 (Martínez Martínez, 2010). Entre los componentes asociados a esta competencia (medir, experimentar, modelar, predecir, decidir), los tres primeros son los más relevantes a nivel de estudios de grado.

La evaluación forma parte del proceso de aprendizaje y en el caso de las sesiones prácticas o laboratorio se realiza mediante rúbricas que pongan de manifiesto el grado de consecución de los objetivos específicos de cada sesión (habilidades específicas, combinación de conocimientos y actitudes basadas en el tema particular) y los generales de la parte experimental.

La rúbrica no sólo pretende evaluar los conocimientos del alumnado, sino que, además, debe servir como herramienta de reflexión que le permita tomar conciencia de lo aprendido (Torres Gordillo y Perera Rodríguez, 2010). Por ello, es



**Figura 4.5.:** Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes basadas en proyectos.

importante que la rúbrica identifique algunos de los componentes competenciales del método (combinación de habilidades, actitudes y conocimientos necesarios para desarrollarse) y no siempre se dará en el mismo orden o con la misma intensidad.

### 4.2.3. Aprendizaje basado en proyectos (ABP y estudio de caso)

En esta metodología, los objetivos didácticos son alcanzados por los alumnos a través de la realización de un trabajo de grupo, supervisado periódicamente por el profesor. Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, las metodologías basadas en proyectos son metodologías centradas en el alumno y con un perfil tecnológico típicamente bajo, y que fomentan un enfoque activo y colaborativo, tal y como se ilustra en la Figura 4.5.

La complejidad de los proyectos propuestos debe ser adecuada al nivel de conocimiento de los alumnos y al tiempo de que disponen para su realización. El propósito del proyecto es que el estudiante:

- Analice el problema.
- Proponga la solución más adecuada.
- Aplique dicha solución.
- Evalúe los resultados obtenidos.

El objetivo final, siempre que sea posible, debe materializarse en una producción tangible (un sistema electrónico, un programa...) y un informe escrito, que junto

con la valoración del proceso de realización del proyecto servirá como herramienta de evaluación para el profesor.

Al plantear una metodología tipo ABP/estudio de caso se pretende, por tanto, que el aprendizaje de los alumnos se oriente hacia la resolución de una serie de problemas complejos en un escenario realista, recurriendo a competencias adquiridas no sólo en la asignatura en la que se desarrolla la actividad, profundizando de una forma novedosa en un tópico y a la vez que se fomenta un aprendizaje colaborativo y en el que los alumnos podrán ir asumiendo distintos roles en el transcurso de la actividad.

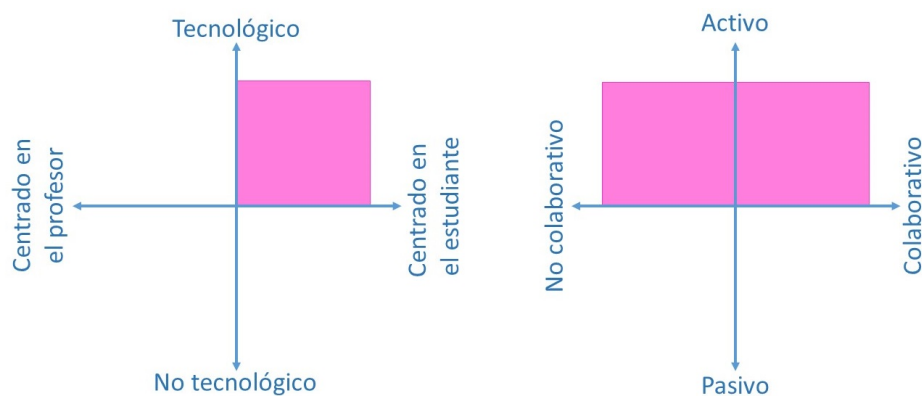
#### 4.2.4. *e-learning* y *m-learning*

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) son un instrumento privilegiado para facilitar y promover el aprendizaje significativo del estudiante, y su extendido uso en educación ha conducido a que en la actualidad se hable de Tecnologías del Aprendizaje y la Comunicación (TACs). Muchos centros de educación superior han adoptado el uso de entornos virtuales de aprendizaje y han incorporado el *e-learning* en sus metodologías tradicionales de enseñanza como parte de un aprendizaje mixto.

El *m-learning* surge como una extensión del *e-learning* en la que se hace uso de los dispositivos móviles que en la actualidad todos los alumnos y docentes tienen a su disposición. En este sentido, el *m-learning* mantiene todas las ventajas del *e-learning* y añade además la posibilidad de aprender en cualquier lugar y momento.

Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, las metodologías basadas en el uso de TACs para conseguir *e-learning* y *m-learning* son metodologías centradas en el alumno y con un perfil tecnológico alto, y que fomentan un enfoque activo aunque son variables en cuanto al grado de cooperatividad alcanzado. Esto se ilustra en la Figura 4.6.

Una de las principales características de estas metodologías es que permiten el consumo de contenidos multimedia tales como vídeos, animaciones o infografías, diseñados específicamente para reforzar conocimientos, profundizar en conceptos y mostrar aplicaciones reales. Por otro lado, las TACs no tienen por qué utilizarse en sentido unidireccional, en el que los estudiantes son simples consumidores del contenido propuesto por el profesor, sino que permiten la incorporación de interactividad, en la que los estudiantes se relacionan con el propio medio digital y



**Figura 4.6.:** Cuadrantes descriptivos de las metodologías docentes que usan TACs para producir *e-learning* y *m-learning*.

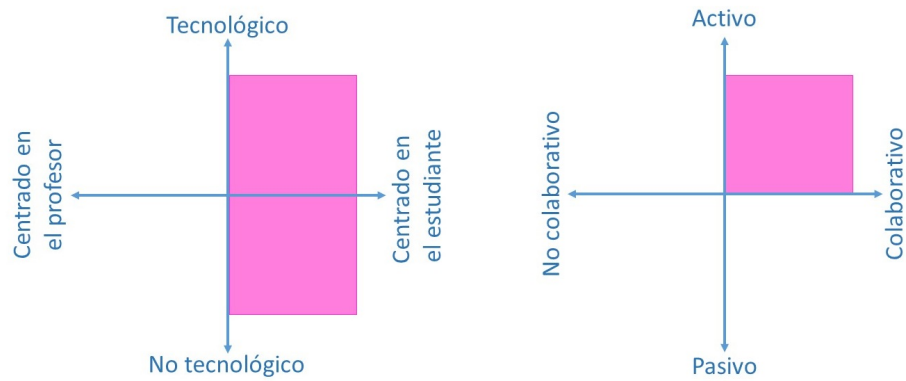
obtienen realimentación inmediata, lo que refuerza su proceso de construcción del modelo.

Los contenidos específicos diseñados para la implementación de estas metodologías normalmente se almacenan y construyen un repositorio general, lo que a su vez permite su reutilización y combinación tanto según lo desea el profesor como según lo necesita el alumno, lo que redundará en una mayor personalización e individualización del aprendizaje.

Por otro lado, el consumo de estos recursos es intrínsecamente no lineal (se puede consumir en cualquier lugar y en cualquier momento, sin secuenciación establecida), lo que permite que los alumnos desarrollen competencias transversales como la gestión del tiempo y la auto-organización.

#### 4.2.5. *Flipped classroom*

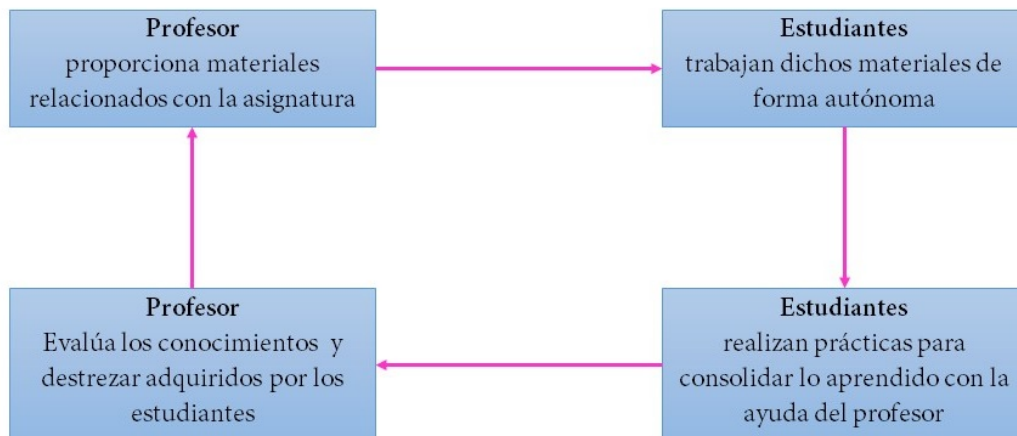
La *flipped classroom* o aula invertida es una metodología en la que el trabajo necesario para determinados procesos de aprendizaje se realiza fuera del aula, reservando el tiempo de clase y la experiencia del docente para realizar otros procesos de aprendizaje y para poner en práctica los conocimientos adquiridos (Chen y col., 2014; Deslauriers y col., 2011; Pierce y Fox, 2012; Sánchez Rodríguez y col., 2017). Esta metodología está hoy en día muy extendida en el ámbito de la educación superior, y se utiliza en muy diversas disciplinas desde ingeniería hasta salud, negocios o estadística (Aronson y col., 2013; Gilboy y col., 2015; O’Flaherty y Phillips, 2015).



**Figura 4.7.:** Cuadrantes descriptivos de la metodología docente de tipo *flipped*.

Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, la metodología de tipo *flipped* está centrada en el alumno y tiene un perfil tecnológico variable; por otro lado, fomenta un enfoque activo y cooperativo, tal y como se muestra en la Figura 4.7.

La metodología *flipped* propone un enfoque integral que combina la instrucción directa con métodos constructivistas. Los profesores diseñan y publican actividades de conocimiento para trabajar fuera del aula y el tiempo de clase se libera para que se pueda facilitar la participación de los estudiantes en el aprendizaje activo a través actividades aplicadas que fomentan la exploración y aplicación de ideas. Las etapas con las que habitualmente se diseña una metodología *flipped* se muestra en la Figura 4.8.



**Figura 4.8.:** Etapas de una metodología *flipped*. Adaptado de Sánchez Rodríguez y col. (2017).



Es decir, el tiempo de clase se utiliza para mejorar, poner en contexto y verificar los modelos, por lo que el rol del instructor cambia de un experto en la tarima (*sage on the stage*) a un guía al lado (*guide on the side*) que interactúa con los estudiantes y los anima (King, 1993). Las actividades en el aula reciben un enfoque innovador para promover otras habilidades, como la autonomía o el aprendizaje multidireccional.

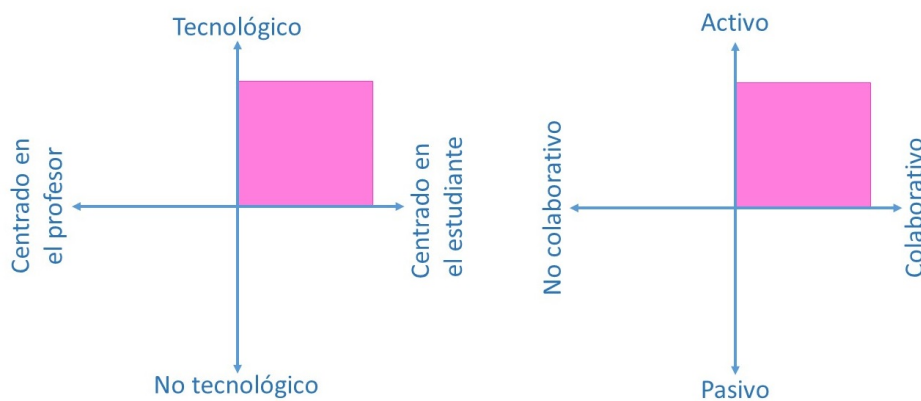
Desde un punto de vista de la construcción de modelos, se fomenta que los alumnos se impliquen de manera más personal en su construcción a la vez que se promueven las condiciones necesarias para que dichos modelos se contrasten y discutan con sus pares. Además de aprovechar los beneficios intrínsecos del aprendizaje activo (*oigo y olvido, veo y recuerdo, hago y entiendo*), también permite que el profesor consiga una monitorización más cercana del proceso de aprendizaje de sus estudiantes. En este sentido, son de especial interés los proyectos interdisciplinarios que requieren que los estudiantes diseñen, modelen, lleven a cabo y prueben un sistema.

La metodología *flipped*, dependiendo del caso, se puede implementar haciendo que los estudiantes trabajen en grupo o individualmente. Además, en ciertas materias, la utilización de recursos TICs permiten a los estudiantes aprender a su propio ritmo y llevar a cabo actividades y experimentos virtuales. Esta variedad de situaciones de aprendizaje favorece un aprendizaje iterativo y progresivo, mientras desarrollan su autonomía, habilidades organizativas, así como gestión del tiempo y habilidades de comunicación.

#### 4.2.6. *WebQuest*

Como se ha comentado anteriormente, el uso de entornos virtuales de aprendizaje ya está adoptado en muchos centros de educación superior como parte de un aprendizaje mixto. Esto conlleva cambios metodológicos en la enseñanza y en la evaluación del proceso de aprendizaje del alumno.

Entre las metodologías educativas que se basan en el uso de entornos de aprendizaje enriquecido se encuentra la *WebQuest*. La *WebQuest*, propuesta por Dodge (1995), es una actividad orientada a la investigación en la que la información utilizada proviene de recursos de la red. Esta metodología se nutre de muchos conceptos provenientes del constructivismo, y en particular de la idea de Andamiaje de Jerome Bruner, concepto que a su vez presupone los de Zona de Desarrollo Próximo y Mediación de Lev Vygotsky. Así, una *WebQuest* plantea una actividad dirigida de investigación en un tema específico que busca conseguir un aprendizaje real y significativo por parte del alumno.



**Figura 4.9.:** Cuadrantes descriptivos de la metodología *WebQuest*.

Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, la metodología de tipo *WebQuest* está centrada en el alumno y tiene un perfil tecnológico alto; por otro lado, fomenta un enfoque activo y cooperativo, tal y como se muestra en la Figura 4.9.

En su forma original, una *WebQuest* está estructurada en torno a 5 actividades fundamentales, que se deben realizar de forma secuencial y que sirven tanto de guía para los alumnos en su desarrollo como de repositorio de los materiales seleccionados por el profesor para su realización. Dichas actividades son:

- **Introducción:** Plantea una descripción informativa y motivadora del tema, su importancia, aplicaciones...
- **Proceso:** Enumera los pasos que los estudiantes deben seguir para la realización de la actividad.
- **Recursos:** Presenta los recursos que los estudiantes deben usar para realizar la actividad.
- **Evaluación:** Indica cuáles van a ser los criterios de evaluación de la actividad de forma clara, consistente y específica, típicamente mediante una rúbrica.
- **Conclusiones:** Sección final que presenta una reflexión sobre la actividad realizada y también sobre posibles extensiones.

Además de estas cinco partes, suelen reservarse otras dos como complemento para otros profesores que quieran adaptar una determinada *WebQuest* a su propia docencia:

- **Créditos:** Datos personales y de contacto de los autores de la *WebQuest*.

- Guía didáctica: Información adicional sobre el material utilizado y aspectos específicos de la implementación de la *WebQuest* (temporalización, objetivos docentes...).

Un análisis del uso de la *WebQuest* en educación superior arroja como resultado que su uso es limitado y que aparece esencialmente en escenarios teóricos (Caro y Guardiola, 2012; Flores-Lueg, 2015; Martín y Jordi, 2011; Osicka y col., 2013) y, por otro lado, que en el campo de la enseñanza de la Física las experiencias de uso de *WebQuests* son escasas (Abbitt y Ophus, 2008; Bernabé-Muñoz, 2009; Lloret Catala y col., 2015).

#### 4.2.7. Tutoría 2.0

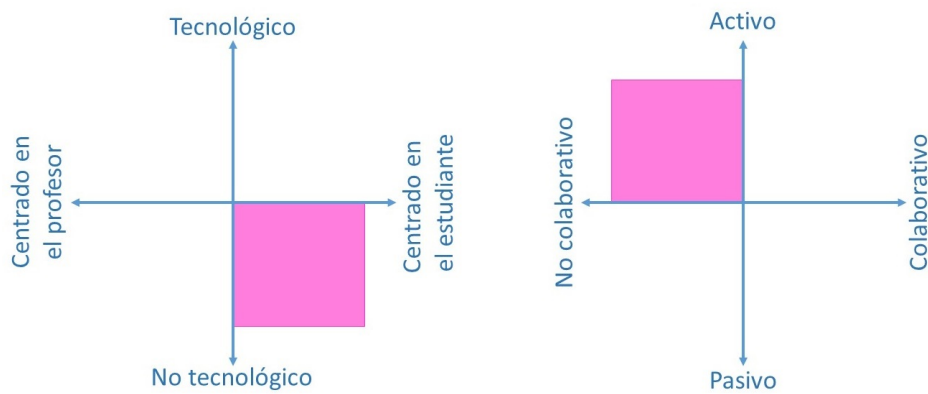
La tutoría académica forma parte de las obligaciones docentes del profesorado universitario y tiene como una de sus principales misiones la individualización y personalización de la enseñanza. En efecto, cuando un alumno que acude a ella busca ampliar y profundizar la información, resolver sus dudas y dificultades y supervisar sus proyectos personales.

La tutorización permanente por parte del profesor permite determinar el grado de éxito en las diferentes tareas asignadas, así como una posible modificación de los objetivos iniciales si se estimara pertinente y guiar el aprendizaje autónomo. También debería propiciar la relación personal entre profesor y alumno, orientar profesionalmente, motivar hacia la asignatura y facilitar la evaluación.

Desde el punto de vista del análisis introducido en este Capítulo, la acción tutorial entendida como metodología docente está centrada en el alumno y tiene un perfil tecnológico bajo; por otro lado, fomenta un enfoque activo y típicamente no colaborativo sino individualizado, tal y como se muestra en la Figura 4.10.

En los últimos tiempos existe un amplio interés en llevar a cabo una actualización de la acción tutorial para conseguir un proceso eficaz de intervención en el aula, que vaya más allá de la visión tradicional de las tutorías como espacios en los que el profesor resuelve dudas concretas a los estudiantes (Álvarez González, 2008; Rodríguez Hoyos y col., 2015).

En este sentido, mediante el auge de las TAC la acción tutorial ya no tiene por qué ser una actividad presencial sino que es posible complementar la acción tutorial tradicional con una acción tutorial llevada a cabo gracias a materiales de refuerzo útiles y atractivos para los estudiantes. Esta actualización del concepto tutoría, en



**Figura 4.10.:** Cuadrantes descriptivos de la acción tutorial como metodología docente.

la que los estudiantes pueden acceder a recursos de apoyo específicos de forma ubicua, y que complementa a la tutoría tradicional, se conoce como tutoría 2.0.

La tutoría 2.0 se basa en que el profesor disponga una serie de materiales para resolver las dudas más comunes entre los estudiantes. Por este motivo, es capital comenzar por una correcta identificación de cuáles son esos conceptos más difíciles de comprender para, a partir de su conocimiento, desarrollar las acciones de intervención y los recursos asociados.

Para ello es necesaria una primera fase de diagnóstico, que típicamente se realiza mediante una encuesta en la que los alumnos valorarán una selección de conceptos en función de su dificultad percibida y en la que además pueden indicar otros conceptos de la asignatura que consideran difíciles y no están entre los sometidos a valoración. En función de los resultados obtenidos de la encuesta, los profesores tienen información para establecer las acciones de mejora que consideren necesarias, y también para la elección de la metodología más adecuada para un refuerzo de esos contenidos.

### 4.3. Recursos docentes/herramientas didácticas

En esta sección se van a analizar distintos recursos con los que implementar las metodologías docentes descritas en la sección anterior para fomentar la construcción de modelos mentales de conocimiento por parte de los alumnos. Los recursos que se van a presentar a continuación pueden usarse de forma individual o combinada.

### 4.3.1. Seminarios o *webinars*

Un seminario consiste en una sesión en la que el profesor o un experto en un tema concreto ejerce labores de conductor con el fin de explorar de forma colectiva y en profundidad temas especializados. Como herramienta didáctica, los seminarios sirven para enfatizar la importancia de la figura del alumno en el proceso enseñanza-aprendizaje.

El advenimiento de las TAC ha servido para producir una actualización de esta herramienta ya que es posible que los contenidos de los seminarios se faciliten de forma remota y accesible mediante Internet. De esta manera, en la actualidad existen los seminarios web o *webinars* (*web-based seminars*).

Como sucede con el resto de herramientas basadas en TAC, una de las ventajas de los *webinars* es que pueden ser consumidos en cualquier lugar y en cualquier contexto. Así, el uso del *webinar* como herramienta educativa permite una programación tanto síncrona, en la que los estudiantes consumen el contenido de forma simultánea, aunque no obligatoriamente en el mismo espacio, y también una programación asíncrona, en la que se hace uso de la ubicuidad inherente a los recursos TAC, permitiendo a los estudiantes visualizarlo en cualquier momento.

Además, el *webinar* añade una nueva ventaja, y es que la posibilidad de generar los contenidos del *webinar* para su consumo remoto facilita que se pueda contar con la participación de expertos destacados a nivel internacional, lo que de otra manera sería prohibitivo por motivos de coste y tiempo.

Es decir, el uso del *webinar* como herramienta didáctica permite a los profesores no sólo realizar una adaptación de los contenidos a los objetivos de aprendizaje del curso, enmarcados en la metodología elegida, sino que además facilita que dichos contenidos sean impartidos por expertos reconocidos en sus diversos ámbitos, incluso diseñados para profesionales del sector. Esto es de especial relevancia en la coyuntura económico-laboral que se vive actualmente, ya que permite ofrecer a los alumnos una perspectiva realista de opciones de desarrollo profesional en su campo de especialización.

Además de considerar restricciones inherentes a este formato tanto para el presentador como para el consumidor (estudiante), tales como la necesidad de tener un PC y una conexión estable a Internet, o disponer de sistemas de grabación y reproducción de audio/vídeo de la suficiente calidad, una de las tareas más relevantes en la introducción de un *webinar* en el contexto educativo es cómo realizar su diseño para que éste tenga la mayor efectividad.



**Figura 4.11.:** Diagrama de flujo (*event flow*) para la realización de un *webinar* en educación.

De esta manera, Verma y Singh (2010) propuso un diagrama de flujo específico para el diseño de *webinars* en educación, en el que se incide en que la planificación de un *webinar* debe considerar tanto las fases previas al mismo, con la invitación a los asistentes, como tras su finalización, con la inclusión de actividades de realimentación y seguimiento. El diagrama de flujo (*event flow*) propuesto se reproduce en la Figura 4.11.

### 4.3.2. Dispositivos inteligentes

En la actualidad, los dispositivos electrónicos con conectividad y capacidad de sensado (teléfonos móviles, tabletas, relojes inteligentes...) están universalmente extendidos de forma que típicamente todos los implicados en el proceso educativo cuentan con al menos uno en todo instante de tiempo.

Dichos dispositivos han ido evolucionando con el paso del tiempo pero en la actualidad cuentan con unas capacidades de captura y reproducción de contenido digital, tanto de vídeo como de audio, de procesamiento (los móviles actuales cuentan con procesadores *multi-core* a velocidades de procesado de GHz y con varios GB de RAM, superando las prestaciones de los PCs de la década pasada) y de sensorización que los convierten prácticamente en laboratorios portátiles.

A modo de ejemplo, un teléfono móvil actual de última generación cuenta con los siguientes sensores, además de los ya comentados de micrófono y cámara, que puede incluso ser de infrarrojos (IR):

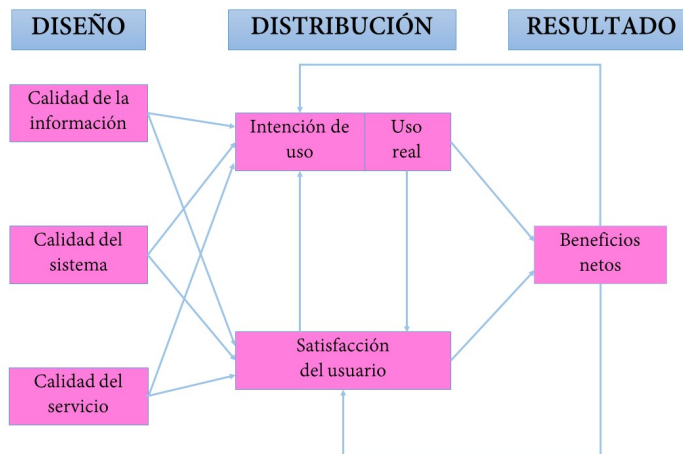
- Acelerómetro de 3 ejes.
- Giroscopio.

- Magnetómetros.
- GPS.
- Sensor de proximidad.
- Sensor de luz ambiental.
- Sensor de huella dactilar.
- Lector de código QR.
- Barómetro.
- Sensor de ritmo cardíaco.
- Termómetro.
- Sensor de humedad.
- Sensor de radioactividad (Sharp Pantone 5).

De esta manera, se abre un campo enorme de aplicación de los dispositivos electrónicos (principalmente teléfonos móviles y tabletas) como plataformas desde la que producir y consumir contenidos específicos de docencia, así como herramientas con las que construir el propio proceso de enseñanza-aprendizaje, ayudando de forma definitiva a la construcción de entornos para *e-learning* y *m-learning*. Uno de los modelos más aceptados para medir el éxito de las metodologías de *e-learning* y que sirve para construir la forma de uso de los dispositivos inteligentes que sirven de base para ellas es el propuesto por Holsapple y Lee-Post (2006), que a su vez se basa en el modelo de por DeLone y McLean (DeLone y McLean, 1992, 2003).

El modelo de Holsapple y Lee-Post (2006) propone prestar atención por separado al diseño, distribución y resultados del sistema diseñado, tal y como se muestra en la Figura 4.12. Si se analizan cada una de las componentes por separado, viendo qué factores influyen en ellas:

- Diseño del sistema
  - Calidad del sistema: Usabilidad, amigabilidad, estabilidad, velocidad, seguridad, responsividad.
  - Calidad de la información: Organización, presentación, duración, claridad, utilidad, actualidad.
  - Calidad del servicio: Rapidez, justicia, disponibilidad, claridad.



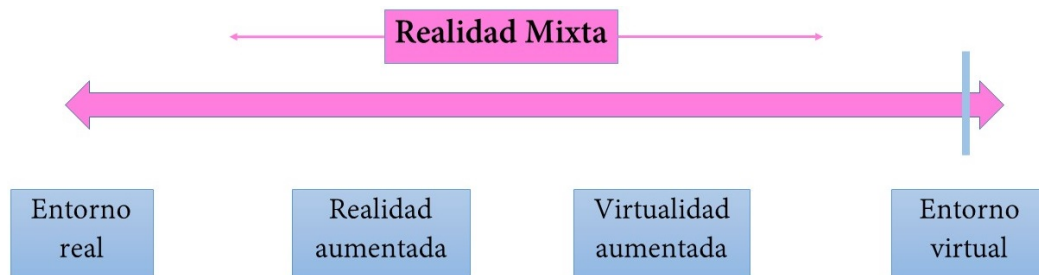
**Figura 4.12.:** Modelo de evaluación del éxito del *e-learning* propuesto por Holsapple y Lee-Post (2006).

- Distribución del sistema
  - Uso: Transparencias, audio, texto, foro de discusión, casos, problemas, tutoriales, ejercicios, examen.
  - Satisfacción del usuario: Opinión general, experiencia, éxito de uso, recomendación a otros.
- Resultado del sistema (beneficios)
  - Aspectos positivos: Mejora del aprendizaje, empoderamiento, ahorro de tiempo.
  - Aspectos negativos: Falta de contacto, aislamiento, problemas de calidad, dependencia tecnológica.

### 4.3.3. Simulación por ordenador y aplicaciones interactivas (*applets*)

Otra herramienta muy extendida en educación son las de simulación por ordenador. Su uso se ha ido generalizando porque permiten, por un lado, ofrecer una representación visual de fenómenos abstractos, consiguiendo una mejor comprensión por parte de los estudiantes; y, por otra, añadir un importante grado de interactividad ya que los usuarios pueden modificar el valor de los parámetros involucrados y así analizar su influencia y las dependencias existentes.





**Figura 4.13.:** Situación de las simulaciones por ordenador y *applets* en el Continuo de Milgram.

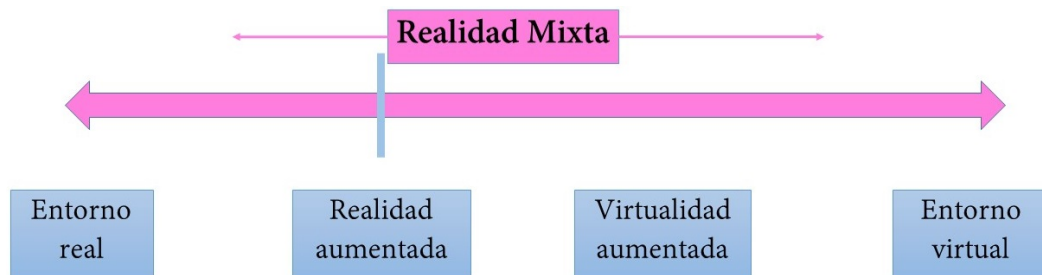
Esta presencia de interactividad en la relación con el ambiente y la posibilidad de su simulación y réplica mediante *software* se suele indicar mediante el llamado Continuo de Virtualidad o Continuo de Milgram, acuñado en 1994 por Milgram y Kishino y que establece una línea continua entre los sistemas que se corresponden enteramente con el mundo real, y los que son completamente simulados (realidad frente a realidad virtual). Así, usando esta representación se puede indicar cuál es el contenido de virtualidad de los distintos sistemas.

En el caso de las simulaciones por ordenador y las *applets*, los entornos son completamente virtuales, de forma que ocupan uno de los extremos del Continuo de Milgram, tal y como se muestra en la Figura 4.13.

Existen programas de ordenador específicos de simulación, diseñados para procesos concretos (por ejemplo de simulación de sistemas mecánicos por elementos finitos, de simulación de circuitos eléctricos...) y también existen aplicaciones concretas diseñadas sobre un software más genérico, como pueden ser las aplicaciones interactivas diseñadas en Matlab, que es un software genérico de cálculo matricial, ampliamente extendido en la industria y la academia.

Cuando se plantea el uso de herramientas de simulación por ordenador como parte de una metodología docente hay que considerar determinados aspectos:

- Si existen versiones con precio gratuito para aplicaciones educativas o, en su caso, si la institución ofrece acceso.
- Si es un software conocido y utilizado ampliamente en el sector, lo que fomenta la adquisición de competencias transversales y despierta el interés de los estudiantes.
- Si existe un catálogo amplio catálogo de tutoriales o ejemplos de aplicación de libre acceso en temas relacionados con el objetivo del curso.



**Figura 4.14.:** Situación de las aplicaciones de realidad aumentada en el Continuo de Milgram.

#### 4.3.4. Realidad aumentada (códigos QR)

Una de las cuestiones más críticas del uso de recursos multimedia en educación, y particularmente en educación superior, es cómo facilitar el acceso a dichos contenidos en el momento en que estos son relevantes. En ese sentido, elementos de carácter intrínsecamente digital como apuntes enriquecidos, *e-books* o presentaciones multimedia permiten de manera inmediata enlazar al contenido mediante hipervínculos situados a lo largo de su desarrollo.

Las aplicaciones de la realidad aumentada presentan un enlace entre el mundo real y el mundo virtual, y por tanto, usando el Continuo de Milgram presentado en la Sección anterior, éstas se sitúan en el otro lado del espectro, tal y como se muestra en la Figura 4.14.

Un ámbito docente en el que la necesidad de introducir material multimedia complementario es especialmente destacable es el de las sesiones prácticas de laboratorio en disciplinas experimentales. En las sesiones de laboratorio, los estudiantes deben utilizar instrumentación compleja, cuyo manejo está recogido en los manuales de uso, así como reproducir técnicas de medida de nivel avanzado. A pesar de que ambos contenidos pueden trasladarse al ámbito multimedia con facilidad (como un documento de texto en el primer caso y como un vídeo o infografía en el segundo), conseguir que los alumnos tengan un acceso sencillo e inmediato a ellos durante la sesión práctica es una tarea más compleja.

Es en este contexto donde cobran especial relevancia las aplicaciones de realidad aumentada (RA), ya que tienen la particularidad de permitir la combinación de información digital y física en tiempo real usando dispositivos móviles. Así, la RA presenta muchas ventajas en el campo de la educación, ya que permite ofrecer información de manera contextualizada, presentándola además en el lugar y en el momento más significativo del proceso de aprendizaje (Estebanell Minguell y col., 2012).

Una de las realizaciones de RA más prometedoras en el ámbito de la educación son los códigos QR (*quick response*), ya que a los beneficios propios de la RA añaden su facilidad de uso y la enorme cantidad de información que pueden almacenar. Esto los convierte en recursos de gran potencial para la educación (Kossey y col., 2015; Law y So, 2010) aunque no todos los autores los clasifican como una categoría dentro de la realidad aumentada (Cabero Almenara y Barroso Osuna, 2016; Estebanell Minguell y col., 2012; Prendes Espinosa, 2015).

#### 4.3.5. Apuntes enriquecidos e *e-book*

Otra de las posibilidades que ofrece el uso de TAC en educación es la creación de apuntes y libros electrónicos (*e-books*) con contenido multimedia (Hinze y col., 2018). En los últimos años, estos recursos se han ido incorporando al proceso de enseñanza-aprendizaje ya que permiten reforzar el conocimiento, profundizar en los conceptos clave y mostrar aplicaciones reales, aportando las ventajas intrínsecas del *m-learning* (Casselden y Pears, 2020)

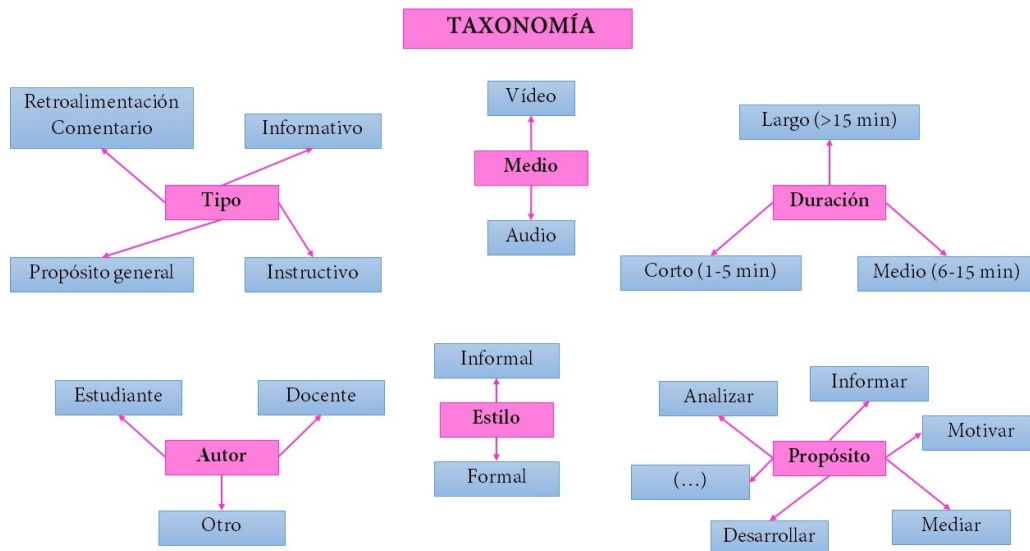
Según numerosos estudios, esto se traduce no sólo en una mejora en el rendimiento académico y la satisfacción de los estudiantes, sino también en competencias transversales como las capacidades de lectura y escritura (Turel y Sanal, 2018).

La ventaja más destacada que aportan estas herramientas en el proceso de enseñanza-aprendizaje es que permiten la inclusión de contenido multimedia, pero además presentan otros beneficios como (Fojtik, 2015):

- Son fáciles de adquirir y distribuir.
- Son fáciles de almacenar.
- Permiten ajustar el tamaño de la fuente.
- Permiten su lectura en diversas plataformas.

Este tipo de herramientas se pueden realizar en código abierto (siendo pdf, epub y mobi los más comunes) para su uso en dispositivos móviles y hacer que incluyan recursos multimedia como vídeo, audio, interconectividad o navegación avanzada; también pueden utilizarse de forma interactiva por los estudiantes, ofreciendo opciones de retroalimentación inmediata.

En este sentido, es importante elegir convenientemente los distintos formatos en los que aparecerá el contenido multimedia (*podcasts*, infografías, *hyperlinks* y actividades interactivas) para conseguir la mayor compatibilidad posible entre



**Figura 4.15.:** Taxonomía de los materiales multimedia usados en educación.

plataformas, así como que puedan ser optimizados en tamaño para su correcta visualización tanto en teléfonos móviles como en tabletas. Por otro lado, en el diseño de estas herramientas es importante conseguir que los recursos que aparecen sean auto-contenidos y que se organicen de forma jerárquica a través del propio desarrollo del texto que les sirve de soporte.

#### 4.3.6. Videotutorial o *vodcast*

En la actualidad, el consumo de contenido en Internet a nivel global está dominado por formatos multimedia. En concreto, según el *white paper* de Cisco sobre el uso de Internet en el periodo 2018-2023 (Cisco, 2020) el tráfico IP debido al consumo de contenido multimedia va a suponer un 82 % de todo el tráfico IP global, con un crecimiento anual del 26 %.

Esta tendencia se ha seguido también en el contexto educativo, donde han aparecido numerosos ejemplos de uso de herramientas en formato multimedia para su inclusión en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Woolfitt, 2015). De estos, además, el formato vídeo es el que tiene un mayor uso, ya que permite complementar el texto con imágenes estáticas o procesos, lo que ayuda a ilustrar y ejemplificar los conceptos tratados. Aunque originalmente dichos contenidos han sido utilizados predominantemente en enseñanzas puramente a distancia (Laaser y Toloza, 2017), su uso se está extendiendo cada vez más a contextos de enseñanza presencial, mediante la implementación de metodologías mixtas.

Aunque existen multitud de opciones para realizar este tipo de contenidos multimedia, y por este motivo han aparecido numerosos intentos de establecer taxonomías de ellos, esencialmente los materiales multimedia usados en educación se suelen clasificar atendiendo a 6 categorías, tal y como se ilustra en la Figura 4.15:

- La función que buscan.
- El medio en el que se consumen.
- Su duración.
- Quién es el autor.
- El estilo de presentación.
- Su propósito.

Existe una gran variedad de formatos en los que se puede presentar contenido en formato vídeo, y una de las clasificaciones más extendidas es la presentada por Hansch y col. (2015), en la que identifican 8 tipos de estilos de vídeo usados en educación, tal y como se muestra en la Figura 4.16.

Por otro lado, otro aspecto relevante que hay que tener en cuenta es la duración de los vídeos, ya que diferentes estudios muestran que según el uso docente que se le quiera dar su duración óptima debe cambiar. Por ejemplo, en una situación de atención en directo se estima que el tiempo de atención de los alumnos, y por tanto la duración del vídeo, no debería superar los 5 o 6 minutos (Guo y col., 2014; Herala y col., 2017), mientras que usados en metodologías tipo *flipped* pueden llegar a los 15 o incluso 30 minutos sin que pierdan efectividad pedagógica (Maher y col., 2013; Zappe y col., 2009).

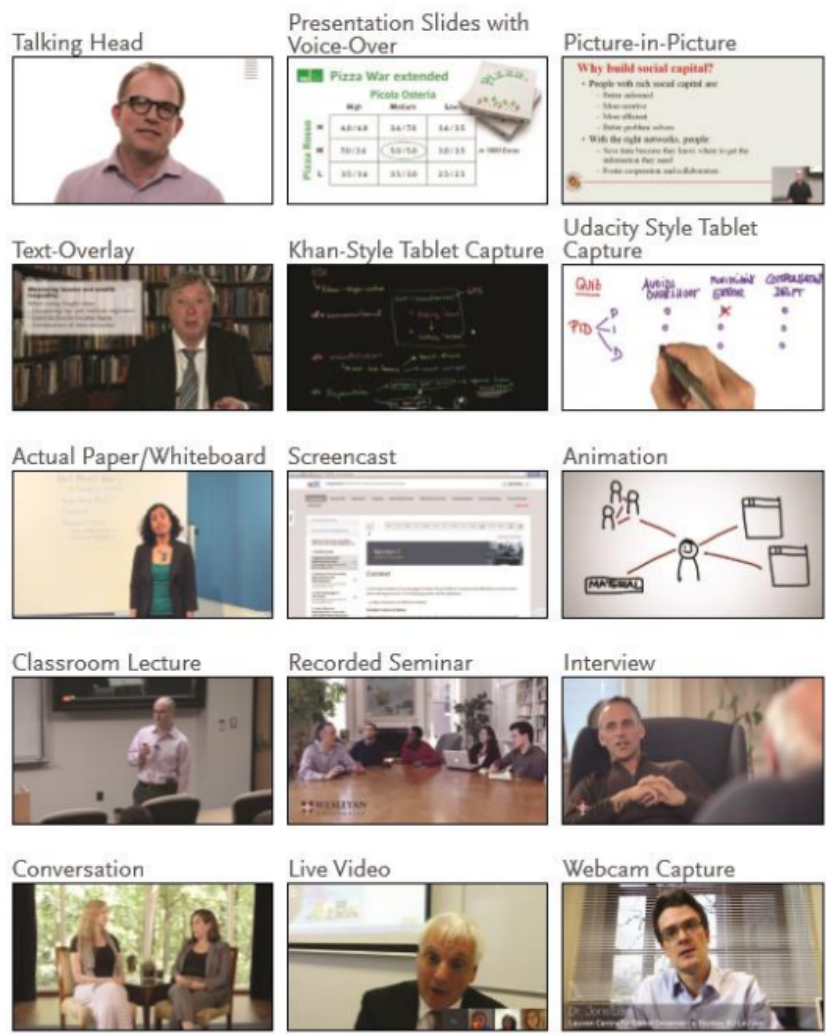


Figura 4.16.: Tipos de vídeo usados en educación según Hansch y col. (2015).

## Intervención en el aula

El Capítulo 4 se ha dedicado a la descripción, contextualización e interpretación de distintas estrategias didácticas que se pueden seguir para implementar procesos de enseñanza-aprendizaje basados en la construcción de modelos de conocimiento, en particular para la enseñanza de una rama de la Física (Electrónica) en enseñanza universitaria.

En este capítulo se va a realizar una revisión de distintas aplicaciones de dichas estrategias, llevadas a cabo en el transcurso de la realización de la presente Tesis Doctoral. El orden a seguir seguirá el esbozado en el Capítulo 3 y se detallará tanto el contexto en el que se han ido aplicando como los elementos utilizados para su realización. Finalmente, en cada uno de ellos se indicarán los principales resultados encontrados, analizando tanto la posible evolución de indicadores medibles del modelo mental construido por los estudiantes, como de su opinión y grado de satisfacción con cada una de ellas. Todo esto redundará en una evaluación de la efectividad del uso de los recursos presentados para la construcción de los modelos mentales de conocimiento por parte de los estudiantes.

### 5.1. Aplicación al estudio del transistor

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Cascarosa, E., Aldea, C. y Gimeno, C. (2019) Application of a flipped classroom for model-based learning in electronics. *The International Journal of Engineering Education* 35.(3), 938-946.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017a) Apuntes enriquecidos para la enseñanza de la Electrónica en Educación Superior. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 86.

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016b) Enhanced eBooks in the teaching/learning process of electronics. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAd)*, 84-91.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2015a) E-learning environment for Electronics in Physics Degree. *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE)*, 127-134.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) Applets for Physical Electronics learning. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 1-5.

### 5.1.1. Descripción

El dispositivo más relevante en el campo de la Electrónica es el transistor, tanto en su versión bipolar (BJT) como en su versión de efecto de campo (FET), cuya realización en forma de estructura metal-óxido-semiconductor (MOSFET, tanto de canal N como P) es la base de la electrónica moderna, ya que son la pieza fundamental de los circuitos digitales, siendo su fabricación combinada conocida como proceso CMOS. Se estima que el 99% de los transistores fabricados en la última década son de este tipo.

De esta manera, el estudio del transistor y en particular de los transistores MOSFET, tanto de canal N como P y su combinación en el proceso CMOS para formar celdas digitales y analógicas es uno de los temas más importantes de los currículos de Electrónica en educación superior.

Debido a su importancia, se ha diseñado una estrategia basada en TAC para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos dispositivos, tanto en lo referente a su estructura y operación como a sus múltiples aplicaciones, contribuyendo así a una correcta construcción por parte de los alumnos de los modelos mentales de conocimiento del concepto de semiconductor y su operación basado en el uso directo de este tipo de dispositivos.

### 5.1.2. Contexto

El estudio del transistor es transversal y común a casi todas las asignaturas impartidas por el Área de Electrónica, tanto en el Grado en Física como en el Máster



en Física y Tecnologías Físicas (Tablas 2.2 y 2.3), y por supuesto en la mayoría de las Ingenierías.

Por ese motivo, la estrategia diseñada para este recurso educativo se planteó, desde un primer momento, con una flexibilidad que le permitiera ser utilizada en las diferentes asignaturas de grados científicos y tecnológicos. Para ello, en lugar de tomar como marco de referencia el programa concreto de alguna asignatura del Área de Electrónica del Grado en Física de la Universidad de Zaragoza, como la Electrónica Física, se prefirió que estos recursos trataran conceptos generales de los dispositivos semiconductores involucrados en diferentes asignaturas relacionadas con la Electrónica.

En la primera fase de actuación se desarrollaron los recursos correspondientes al transistor MOSFET por su elevada presencia en los currículos científico-tecnológicos. Los contenidos multimedia incluidos deben estar orientados a reforzar conocimientos, profundizar en conceptos y mostrar aplicaciones reales de estos dispositivos. Estos contenidos entrarán a formar parte de un repositorio general y deben tener un formato adecuado para reproducción multi-plataforma, optimizados en tamaño.

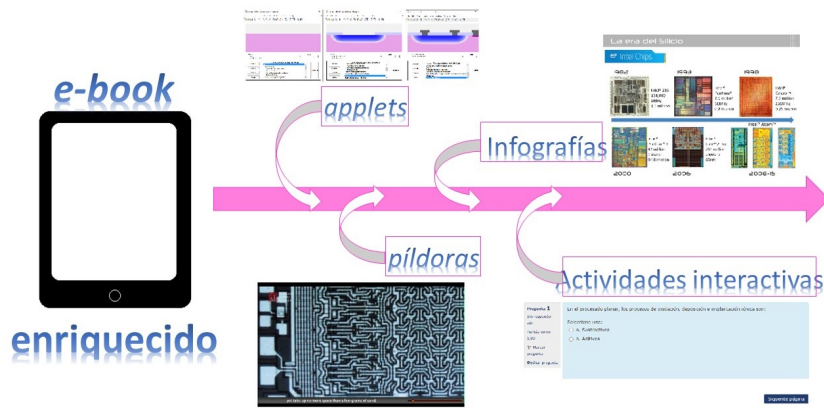
### 5.1.3. Recursos diseñados

El primer recurso diseñado para esta intervención fueron unos apuntes enriquecidos (*e-book* enriquecido).

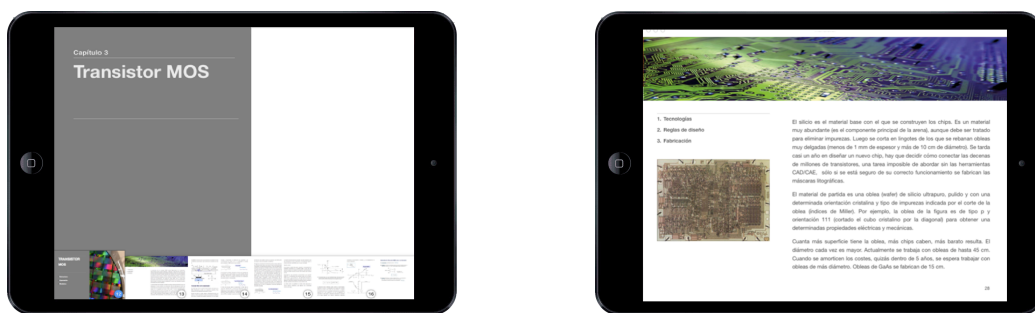
Como se ha comentado en el Capítulo 4, con este tipo de recurso se busca dotar al proceso de enseñanza-aprendizaje de las ventajas intrínsecas del *m-learning*, profundizando en los conceptos clave y aprovechando la posibilidad de añadir recursos multimedia para mostrar ilustraciones y aplicaciones.

La guía argumental de los apuntes enriquecidos diseñados se planteó para que actuase como hilo conductor en la presentación de los distintos aspectos del transistor MOSFET, intercalando la aparición de los contenidos multimedia cuando tienen su mayor efectividad pedagógica.

Esto se ilustra en la Figura 5.1, donde la descripción teórica del transistor MOS se da utilizando un enfoque acumulativo pero en la que los contenidos multimedia se sitúan en puntos específicos para ilustrar, clarificar e incluso evaluar el progreso de los estudiantes.



**Figura 5.1.:** Diagrama ilustrativo de la funcionalidad de los apuntes enriquecidos diseñados: El hilo argumental en texto se va intercalando con recursos multimedia en diversos formatos para ilustrar, clarificar o evaluar.

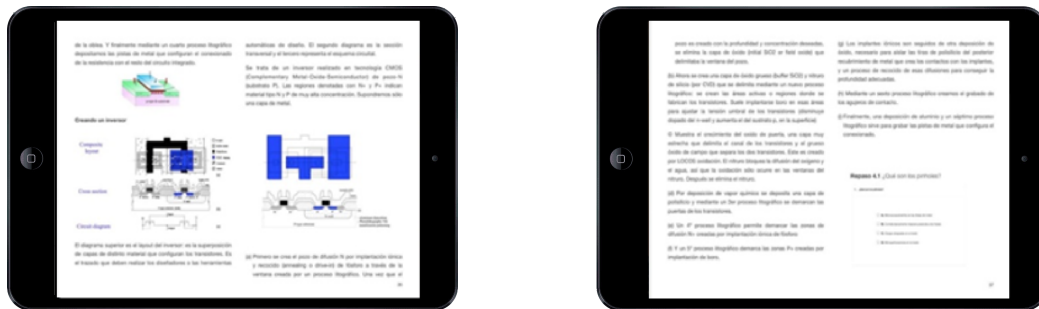


**Figura 5.2.:** Capturas de pantalla de los contenidos de los apuntes enriquecidos para el tema del transistor MOS.

Los apuntes enriquecidos se realizaron usando código abierto e incluyó recursos multimedia (vídeo, audio, interactividad y navegación avanzada) para su utilización en dispositivos móviles, específicamente diseñados para favorecer un aprendizaje adaptado e interactivo.

Para presentar la información se eligieron formatos multimedia con compatibilidad entre plataformas y que pueden ser optimizados en tamaño para su uso en distintos dispositivos móviles. En concreto, se incluyeron:

- *Vodcasts.*
- *Infografías.*
- *Hiperenlaces (hyperlinks).*
- *Cuestionarios interactivos.*



**Figura 5.3.:** Capturas de pantalla de las actividades de evaluación incluidas en los apuntes enriquecidos para el tema del transistor MOS.

Las Figuras 5.2 y 5.3 muestran, respectivamente, un par de capturas de pantalla de los contenidos y las actividades de evaluación incluidos en los apuntes enriquecidos para tratar el tema del transistor MOS.

Otro de los recursos generados para implementar una acción específica de intervención en el aula fue un conjunto de animaciones interactivas, llamadas *applets*, en el entorno Matlab.

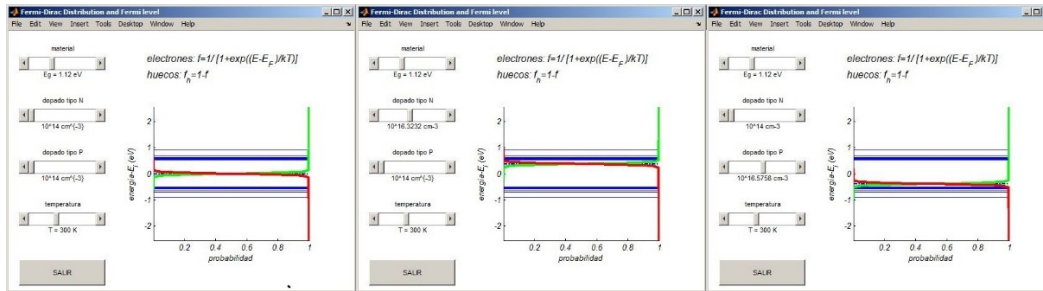
Mediante el uso de *applets* los estudiantes complementan el tratamiento analítico convencional de temas tales como la fabricación y funcionamiento de los dispositivos microelectrónicos, facilitando así su comprensión. Este tipo de recurso puede utilizarse en varias de las metodologías descritas en el Capítulo 4: Clases magistrales, *webinars*, *flipped classroom* y ABP.

Por su parte, el uso de Matlab como entorno *software* para la realización de esta experiencia se motiva principalmente porque:

- Es ampliamente conocido y utilizado en ciencia y tecnología.
- Existe un amplio catálogo de *applets* de libre acceso en temas relacionados con la Física y la Electrónica.
- El campus de la Universidad de Zaragoza cuenta con una licencia institucional válida para los estudiantes.

Se adaptó y proporcionó a los estudiantes una biblioteca formada por un conjunto de *applets* que cubren los principales conceptos estudiados en varios cursos pertenecientes al Área de Electrónica (Micro y Nano Sistemas y Electrónica Física).

Las realizaciones específicas de *applets* se han dividido en tres grandes bloques con tres sub-apartados:



**Figura 5.4.:** Applet que muestra los niveles energéticos (bandas) en un semiconductor dopado y su dependencia con el tipo de dopante, concentración y temperatura.

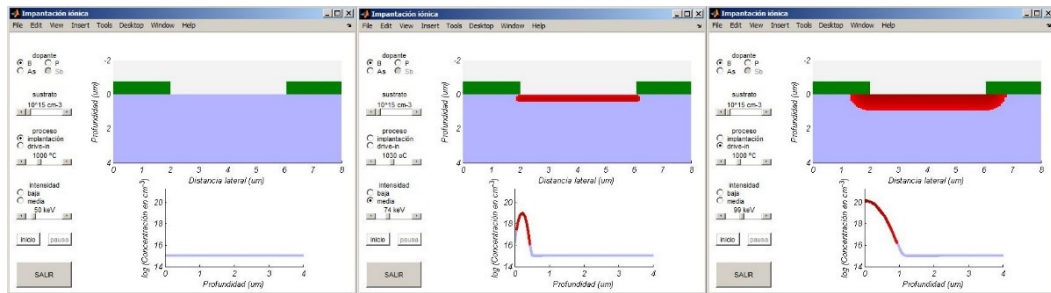
1. Fabricación de circuitos integrados (implantación de iones y difusión, fotolitografía y metalización-planarización).
2. Física de semiconductores (velocidad de arrastre, dependencia de la movilidad de los portadores con la temperatura y distribución de Fermi-Dirac y nivel de Fermi).
3. Dispositivos electrónicos (el diodo, el transistor MOS y el transistor BJT).

En cada uno de ellos se proporcionó a los alumnos una serie de plantillas de los recursos informáticos en las que se pueden variar los parámetros más significativos de los fenómenos bajo estudio y sus dependencias.

Para ilustrar la aplicación de este recurso en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Electrónica, se va a describir su uso en la descripción de los pasos de fabricación de circuitos integrados, y en particular con el proceso de implantación iónica, mediante el cual partículas cargadas (iones) son aceleradas y proyectadas contra un sólido.

En la fabricación de circuitos integrados, la implantación iónica se usa para dopar el sustrato de silicio y conseguir una modificación de su conductividad en la vecindad de la región implantada. En función de los iones usados para la implantación, la región afectada puede convertirse en dopada tipo N, si se implanta fósforo o arsénico, o tipo P si se implanta boro.

Tal y como se ilustra en las Figuras 5.4 y 5.5, la applet permite cambiar las principales propiedades del proceso de implantación tales como el tipo de ion implantado, la energía previa al impacto o el dopado intrínseco del sustrato, y permite visualizar tanto los niveles energéticos conseguidos en la estructura de bandas del material como el propio perfil del dopante.



**Figura 5.5.:** *Applet* que muestra el proceso de implantación iónica y la dependencia del perfil de dopado con el tipo de sustrato y de dopante, la energía de incidencia y la temperatura. También muestra el proceso de recocido o *drive-in* para homogeneizar el perfil de la región dopada.

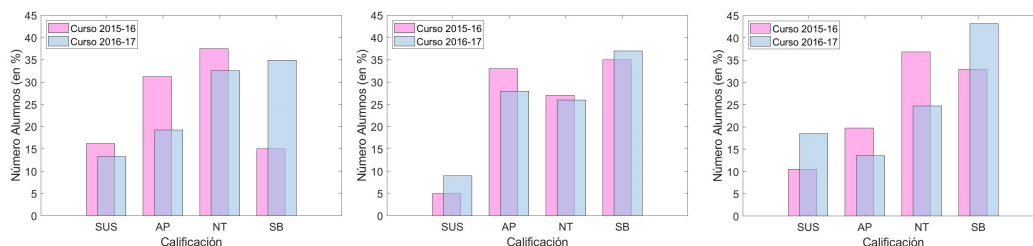
Como se comentó en el Capítulo 4, una de las principales ventajas de las aplicaciones interactivas es que permiten cambiar los parámetros más significativos que gobiernan los fenómenos que describen y sus dependencias, de manera que ofrecen una descripción visual que complementa el tratamiento analítico convencional que se ofrece en el aula y por lo tanto se consigue una mejora en la comprensión de los fenómenos físicos involucrados.

#### 5.1.4. Resultados

Para evaluar el resultado en el aprendizaje se ha llevado a cabo el diseño de actividades específicas para cuya realización es aconsejable el uso de los recursos generados. También se ha realizado una comparativa de los resultados obtenidos en diferentes pruebas evaluativas de años anteriores que recojan los conceptos presentados en los apuntes enriquecidos e ilustrados mediante *applets*.

Dado que los recursos generados no se circunscriben a una metodología específica aplicada a una asignatura en particular, sino que abarcan múltiples escenarios (asignaturas) y usuarios (algunos de distinto nivel), las mejoras en el aprendizaje obtenidas por la aplicación de la estrategia de aprendizaje propuesta se analizan a nivel cualitativo. A pesar de eso, de forma general se observó una mejoría en la comprensión de los conceptos teóricos presentados en los apuntes enriquecidos e ilustrados con las *applets*.

Para cuantificar esta mejoría, se presentan las calificaciones obtenidas desglosadas en tres bloques temáticos tratados usando los recursos: La caracterización de las propiedades básicas del transporte de electrones en semiconductores, la derivación de modelos incrementales del transistor MOS para pequeña señal y el análisis



**Figura 5.6.:** Resultados obtenidos para la parte de transporte de electrones en semiconductores (izquierda), modelos incrementales del transistor MOS para pequeña señal y el análisis del comportamiento de configuraciones amplificadoras monoetapa con transistores MOS. Estas gráficas presentan una comparativa con un curso en el que estos recursos no estaban disponibles.

del comportamiento de configuraciones amplificadoras monoetapa con transistores MOS. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.6.

Para obtener información sobre el proceso de aprendizaje también se ha diseñado una encuesta en la que se presentará un conjunto de afirmaciones sobre el impacto de la actividad propuesta a los estudiantes, a quienes se pedirá que indiquen su grado de satisfacción o de acuerdo. En concreto, entre los aspectos de interés sobre la utilización de los apuntes enriquecidos se preguntó si:

- Son fácil de usar.
- Presentan la información pertinente.
- Fomentan la adquisición de conocimientos.
- Permiten un uso más eficiente del tiempo que los apuntes de clase tradicionales.
- Muestran una información que no se obtiene con los apuntes tradicionales.

En la investigación se han recogido datos de observación en los que se han analizado las variables que el alumnado iba modificando y eligiendo en las *applets*, que como consecuencia tenía el diseño de un transistor con propiedades diferentes. Los docentes hemos recogido esos datos que nos han servido para concluir que, a través del uso de *m-learning* y la aplicación en el manejo de las *applets*, el alumnado relaciona la composición y las características del semiconductor, que en el caso descrito de la implantación iónica dependen, además de la concentración intrínseca de sustrato, del tipo de ion implantado y su energía y de las características del recocido de *drive-in*.

Tras analizar los datos, se ha podido observar que los alumnos son capaces de relacionar la variabilidad en las propiedades del semiconductor, en términos de

concentración de portadores en las regiones P y N con las características del dispositivo concreto realizado a partir de ellas, que en este caso es un transistor MOSFET.

A modo de ejemplo, tras visualizar los perfiles de dopado que proporcionaban las *applets*, la mayoría de los alumnos consideraron que los procesos de difusión serían más adecuados para conseguir el dopado del sustrato de un transistor MOSFET y el de implantación iónica con *drive-in* para establecer las regiones altamente dopadas de fuente y drenador. Esto nos indica, por un lado, que los alumnos relacionan las propiedades de los materiales semiconductores y las necesidades encontradas en los dispositivos concretos que se fabrican con ellos y, por otro, que son capaces de comprender las diferencias que se producen en los propios semiconductores en cuanto al perfil de dopado y la concentración en función de los procesos de manufactura que experimentan.

Finalmente, a modo de autoevaluación se ha diseñado un conjunto de cuestionarios relacionados con los fenómenos mostrados en cada *applet*. Mediante estos cuestionarios, se pretende proporcionar a cada estudiante una retroalimentación inmediata sobre su proceso de aprendizaje, mejorando así sus capacidades metacognitivas, e integrando el proceso de evaluación de manera natural al convertirlo en otra actividad del proceso de aprendizaje. El estudiante, además de dar la respuesta correcta a las preguntas, debe proporcionar una base sólida a cada respuesta, demostrando que es capaz de interpretar el proceso correctamente.

Del análisis de los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión de que el uso de *applets* mejora los resultados del aprendizaje en los siguientes aspectos:

- Mejora la comprensión de fenómenos físicos.
- Conecta lo que conocía previamente sobre semiconductores con su uso en un dispositivo concreto como es el transistor.
- Relaciona las propiedades del transistor con las variables trabajadas en el uso de las *applets*.
- Complementa la descripción teórica con una descripción visual.
- Fomenta la autonomía del aprendizaje de los estudiantes.
- Mejoran las condiciones que dan lugar a aprendizaje por pares.

## 5.2. Aplicación a las sesiones de laboratorio

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2020) Quick response codes as a complement for the teaching of Electronics in laboratory activities. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 1-15.
- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Aldea, C., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2018) Using hyperdata in a laboratory of electronics - QR codes applied to experimental learning. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 467-471.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017c) Uso de hiperdatos mediante códigos QR en un laboratorio de Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIREI)*, 313.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017b) Use of hyperdata in a Laboratory of Electronics (QR codes). *4th International Conference on Learning, Innovation and Competitiveness (CINAIC)*, 74-79.

### 5.2.1. Descripción

Uno de los campos en los que se hace mayor hincapié en los planes de estudio de las disciplinas científicas y tecnológicas es la adquisición de competencias en el ámbito de la experimentación y del trabajo en el laboratorio. De esta manera, prácticamente desde el principio de sus estudios, los alumnos se enfrentan a sesiones prácticas en las que deben aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las distintas asignaturas a situaciones reales.

Además de competencias propias de cada titulación, como la operación con instrumentación específica, el manejo de hojas de características de componentes o la familiarización con las distintas medidas de seguridad que se aplican, los estudiantes adquieren competencias transversales como el trabajo en equipo, la redacción de informes de carácter técnico e, incluso, el trabajo por objetivos y por plazos, ya que las prácticas tienen una duración limitada en el tiempo.



Todos ellos son altamente valorables en el ámbito profesional y, al igual que sucede en un entorno profesional, se espera de los alumnos que sean capaces de resolver las cuestiones planteadas haciendo uso de sus conocimientos, pero también de los recursos a su alcance.

Tradicionalmente, los alumnos han recibido una explicación teórica/práctica sobre los objetivos y procedimientos de cada sesión práctica previamente a su realización, y han contado con la ayuda de los profesores y el acceso al material específico de apoyo (manuales de instrucciones de la instrumentación, hojas de especificaciones de los componentes, etc.) durante el transcurso de cada sesión.

Esta dinámica compromete en bastantes casos la posibilidad de dar respuesta inmediata y completa a las cuestiones y dudas planteadas por los alumnos, ya que los profesores deben atender a varios grupos simultáneamente durante cada sesión. Por otro lado, debido a que en muchas ocasiones los alumnos se encuentran con cuestiones similares, no se promueve un uso eficaz del tiempo de laboratorio.

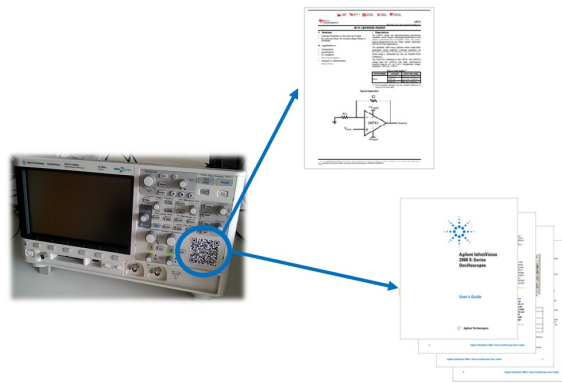
### 5.2.2. Contexto

Como se ha expuesto en el Capítulo 4, un ámbito docente en el que la necesidad de introducir material multimedia complementario es especialmente destacable es el de las sesiones prácticas de laboratorio en disciplinas experimentales. En las sesiones de laboratorio los estudiantes deben utilizar instrumentación compleja, cuyo manejo está recogido en los manuales de uso, así como reproducir técnicas de medida de nivel avanzado.

A pesar de que ambos contenidos pueden trasladarse al ámbito multimedia con facilidad (como un documento de texto en el primer caso y como un vídeo o infografía en el segundo), conseguir que los alumnos tengan un acceso sencillo e inmediato a ellos durante la sesión práctica proporcionaría una mejora en el proceso de aprendizaje.

El único aspecto que queda por cubrir para conseguir una integración adecuada de dichos recursos en el desarrollo de las sesiones es facilitar su accesibilidad, particularmente durante el desarrollo de las sesiones, que es cuando es más relevante la optimización del tiempo debido a su duración limitada.

En este sentido, la realidad aumentada, que permite la combinación en tiempo real de la información digital y física usando dispositivos comunes como tabletas o teléfonos inteligentes, cobra especial relevancia, y en particular su realización como códigos QR.



**Figura 5.7.:** Código QR de Tipo 1.

Se diseñaron una serie de recursos multimedia enlazados mediante códigos QR para su uso en las sesiones prácticas de laboratorio de las asignaturas impartidas por el área de Electrónica en las titulaciones de Grado en Física y Máster en Física y Tecnologías Físicas, con especial atención a la parte experimental de la asignatura de Técnicas Físicas I, anual del segundo curso del Grado, por ser la primera toma de contacto con un laboratorio de Electrónica.

### 5.2.3. Recursos diseñados

En esta intervención se desarrollaron cuatro categorías de recursos multimedia para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las sesiones prácticas de laboratorio:

- Manuales de los instrumentos básicos de medida (osciloscopio, generador de señal y multímetro), hojas de especificaciones de los componentes y notas de aplicación, almacenados en forma de archivo pdf.
- Prestaciones comentadas de los aspectos teóricos y prácticos más relevantes de las sesiones y vídeos demostrativos de cómo se realiza el proceso de medida de las partes más complicadas, así como vídeos demostrativos de cómo se realiza el proceso de medida de las partes más complejas.
- Infografías con contenido relativos al origen e historia del amplificador operacional y de las compañías pioneras en su diseño, fabricación y comercialización.
- Recursos de simulación y ejercicios de autoevaluación.

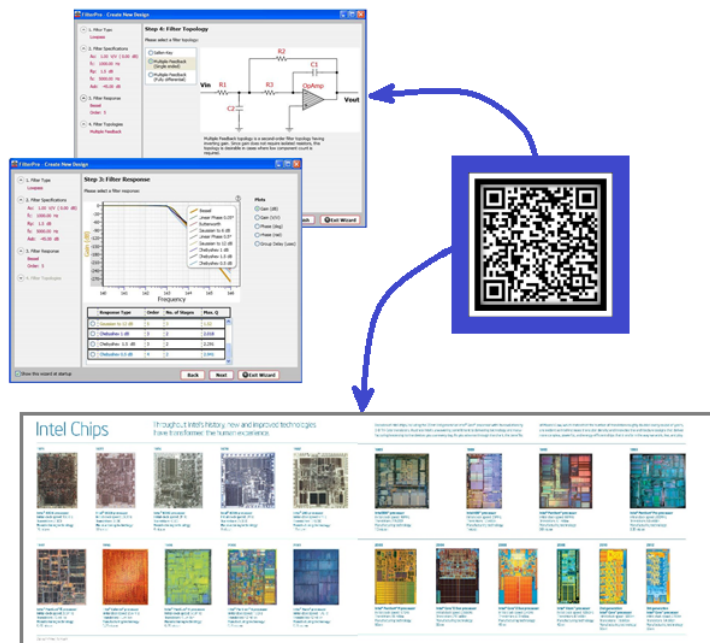


Figura 5.8.: Código QR de Tipo 2.

Como se ha comentado en el Capítulo 4, uno de los problemas principales sobre el uso de recursos multimedia es cómo facilitar su acceso cuando son más relevantes. En esta intervención, se eligió dar acceso a los contenidos anteriormente citados mediante el uso de realidad aumentada, y en concreto mediante códigos QR dispuestos en el lugar en que resultase más provechoso para la aplicación buscada.

En concreto, se generaron tres tipos de códigos QR en función de a qué recurso multimedia daban acceso y en qué parte del proceso de realización de práctica estaban orientados:

- Códigos QR de Tipo 1: Se sitúan directamente sobre la instrumentación y proporcionan un enlace a los manuales de la instrumentación y hojas de especificaciones.
- Códigos QR de Tipo 2: Aparecen en la documentación que cada estudiante tiene que descargarse para realizar las sesiones de laboratorio, y ofrecen enlaces a las prestaciones comentadas y a los vídeos demostrativos.
- Códigos QR de Tipo 3: Se desarrollaron en una segunda etapa para complementar las sesiones de laboratorio que usan el amplificador operacional como elemento clave de circuito, se subdividen a su vez en dos categorías:
  - Códigos QR con enlaces a las infografías relativas al origen e historia del amplificador operacional y de las compañías pioneras en su diseño, fabricación y comercialización.



**Figura 5.9.:** Código QR de Tipo 3.

- Códigos QR con enlaces a los recursos de simulación, notas de aplicación y ejercicios de autoevaluación.

Las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 muestran ejemplos de los tres tipos de códigos generados y de cómo se introducen en las distintas etapas del proceso de realización de las sesiones prácticas para enlazar los distintos recursos multimedia.

### 5.2.4. Resultados

La evaluación de la actividad se ha realizado alrededor de estos puntos principales:

- Rendimiento de los estudiantes en la realización de las sesiones de laboratorio. Es decir, se analiza el tiempo que los alumnos necesitan para alcanzar el conocimiento previsto.
- Manejo y comprensión de las hojas de características de dispositivos semiconductores y de los manuales de la instrumentación.
- Calidad de los recursos diseñados y de su accesibilidad con producto software.
- Motivación personal y satisfacción de los estudiantes.

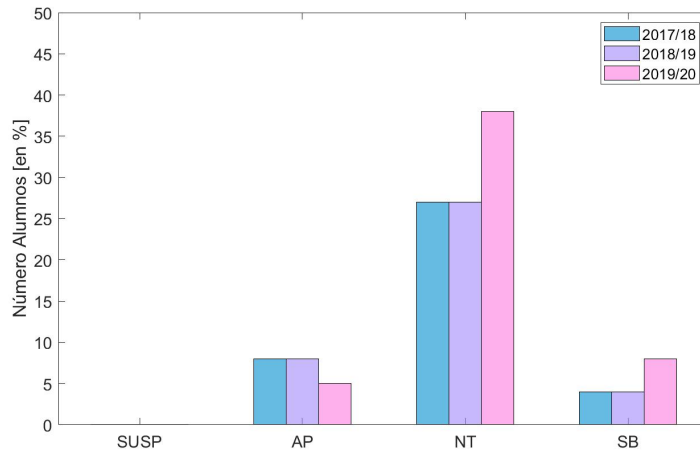
Peso	Competencia	Insuficiente (1)	Suficiente (2)	Bien (3)	Excelente (4)
40 %	Montaje experimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>Numerosos errores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Errores ocasionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Correcto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Correcto y optimizado</li> </ul>
	Manejo instrumentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso inapropiado de la instrumentación</li> <li>No revisa el manual de Usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso apropiado de la instrumentación</li> <li>No revisa el manual de Usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso apropiado de la instrumentación</li> <li>Revisa el manual de Usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de la instrumentación sin errores</li> <li>Revisa el manual de Usuario</li> </ul>
	Proceso de medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>No registra condiciones experimentales</li> <li>No usa instrumentación necesaria</li> <li>No interpreta resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registra condiciones experimentales con poco detalle</li> <li>Usa instrumentación necesaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registra condiciones experimentales en detalle</li> <li>Usa instrumentación necesaria</li> <li>Interpreta resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registra condiciones experimentales en detalle</li> <li>Usa instrumentación necesaria</li> <li>Interpreta resultados</li> <li>Comprueba las hipótesis</li> </ul>
30 %	Trabajo autónomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesita ayuda frecuente para el montaje y la toma de datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesita ayuda ocasional para el montaje y la toma de datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capaz de realizar el montaje</li> <li>Necesita ayuda ocasional para la toma de datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realiza el montaje y la toma de datos de forma autónoma</li> </ul>
	Tiempo de realización	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor que el esperado y mayor que la media</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor que el esperado pero en la media</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el tiempo esperado y debajo de la media</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debajo del tiempo esperado y de la media</li> </ul>
	Actitud en el laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasiva y poco cooperativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participativa y cooperativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participativa y cooperativa</li> <li>Muestra liderazgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lidera el trabajo en equipo y muestra iniciativa</li> </ul>
30 %	Comunicación resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los resultados están incompletos y desorganizados</li> <li>No presenta conclusiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunica algunos resultados importantes</li> <li>No está bien organizado pero es suficiente para respaldar ciertas conclusiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunica los resultados más importantes.</li> <li>Argumenta los resultados y extrae conclusiones</li> <li>Crea gráficas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicación completa de los resultados</li> <li>Expresa los datos y resultados correctamente</li> <li>Crea gráficas y las interpreta correctamente</li> <li>Argumenta los resultados y extrae conclusiones</li> </ul>

**Figura 5.10.:** Rúbrica diseñada para la evaluación de la adquisición de competencias en el laboratorio.

El primero y segundo de estos puntos se evaluaron mediante una rúbrica en la que se tenía en cuenta tanto el desempeño de los estudiantes durante la sesión de laboratorio como el tratamiento y presentación de resultados que quedaban plasmados en un informe final que debían entregar dentro de la semana siguiente a la realización de la sesión de laboratorio. La Figura 5.10 muestra la rúbrica diseñada, con el reparto por categorías y los elementos de valoración.

Se realizó una comparación con los resultados registrados ediciones anteriores del curso Técnicas Físicas I, cuando los recursos no estaban disponibles. Los resultados, mostrados en la Figura 5.11, muestran cómo con la introducción de los recursos se produce una mejora general de las notas, que tienden hacia las calificaciones de Notable y Sobresaliente. Esto es debido a que los alumnos han obtenido información suficiente y fiable (ya que la fuente está fijada por el docente) con la que experimentar en la actividad práctica, acerca de las características de los dispositivos empleados, que implícitamente llevan aparejada las de los semiconductores con los que han sido fabricados, lo que ha contribuido a la construcción del modelo de semiconductor.

Se ha observado que el tiempo de realización en estas partes se ha reducido en promedio un 15% comparado con los tiempos registrados cuando los recursos multimedia no estaban disponibles, lo que se atribuye, por un lado, a que los estudiantes no necesitan esperar a la asistencia de los profesores y, por otro, a que el acceso directo proporcionado a las fuentes de información relevante hace que los estudiantes llevaran a cabo las tareas de forma más fluida.

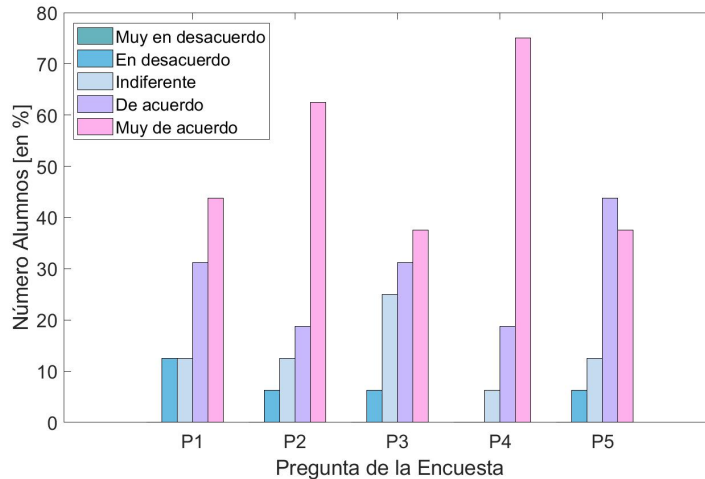


**Figura 5.11.:** Calificaciones obtenidas por los alumnos en la asignatura Técnicas Físicas I durante los cursos 2017/18 a 2020/21.

La evaluación de la calidad de los recursos se ha hecho siguiendo el estándar internacional ISO 9126 para la evaluación de productos software, y en particular de su apartado ISO 9126-1, que evalúa la calidad de los productos software atendiendo a seis categorías: funcionalidad, eficiencia, usabilidad/reusabilidad, fiabilidad, sostenibilidad y portabilidad. La Figura 3.5, incluida en el Capítulo 3, muestra los enunciados de dicho test. Los resultados obtenidos mostraron que la apreciación sobre el recurso y su acceso ha sido alta, con una media de 4.2 sobre 5.

El último punto alrededor del cual se ha evaluado la actividad es la experiencia de los estudiantes, motivado por la evidencia que sugiere que existe una fuerte correlación entre la motivación y satisfacción de los estudiantes y el éxito de las actividades de aprendizaje virtual. Así, se ha creado una encuesta para obtener información sobre la actividad formada por un conjunto de afirmaciones a las que los estudiantes deben indicar su grado de acuerdo, utilizando una escala de Likert de 1 a 5. Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

- P1: Considero que el recurso facilita la consulta de los manuales.
- P2: Considero que el recurso proporciona enlaces a información relevante.
- P3: Considero que el recurso facilita el proceso de medida.
- P4: Considero que el recurso minimiza el tiempo que empleo en buscar información.



**Figura 5.12.:** Resultados obtenidos de la encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes del curso Técnicas Físicas III en relación a la utilización de los recursos multimedia implementados y su accesibilidad mediante códigos QR.

- P5: Considero que el contenido multimedia enlazado mejora los resultados en el laboratorio.

Se presentan los resultados obtenidos de pasar la encuesta a los alumnos del curso Técnicas Físicas III, ya que se empezó aplicando los códigos QR de Tipo 1 en Técnicas Físicas I y luego se fue extendiendo la experiencia a otros cursos, de forma que en Técnicas Físicas III ya estaban todos los recursos disponibles. Los resultados obtenidos de la encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes (Figura 5.12) muestran que más del 75 % ha dado una nota de 4 sobre 5 a las preguntas formuladas, lo que es indicativo de que de forma general los estudiantes están contentos con la inclusión de los recursos multimedia para la preparación y realización de las sesiones de laboratorio.

Por otro lado, el diseño que se ha hecho de estos sistemas de realidad aumentada y aplicación que han hecho los estudiantes de ello, favorece el modelo mental de semiconductor en un sentido más robusto. Esto se debe a que, como las fuentes de información a la que se accede a través de de estos recursos, son fuentes controladas por el docente, esto supone un andamiaje del modelo buscado, es decir, la construcción del conocimiento está dirigida.

Al finalizar la actividad de uso de recursos multimedia en las sesiones de laboratorio, accesibles de manera inmediata y contextualizada a través de códigos QR, los alumnos fueron capaces de realizar la implementación práctica y la caracterización experimental de circuitos electrónicos basados en dispositivos semiconductores, y en particular en el transistor MOSFET. Tomando como base el modelo de los

materiales semiconductores y su realización concreta en dispositivos, pudieron realizar una generalización del mismo para construir un sistema electrónico capaz de realizar una operación determinada, comprobando además sus dependencias (ancho de banda, ganancia...) de forma empírica, lo que sirve para afianzar el modelo mental de semiconductor y de dispositivo.

Finalmente se debe destacar que además de las mejoras educativas asociadas al *m-learning*, tales como el acceso inmediato, la interacción, la personalización o la individualización del aprendizaje, esta experiencia ha resultado de una mejora en la autonomía de los estudiantes en la adquisición de competencias experimentales, ya que siempre han tenido acceso a una fuente activa de ayuda particularizada a cada instrumento y proceso de medida que se realiza.

### 5.3. Aplicación al estudio de los sistemas caóticos

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en la siguiente publicación internacional:

- Bosque, M. G., Señorans, G. D. y Azqueta, C. S. (2021) Uso de circuitos caóticos como estrategia para fomentar el interés en la electrónica en el Grado de Física. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 108
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017e) Webquest para el desarrollo de competencias en el ámbito de la Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIREI)*, 324.

#### 5.3.1. Descripción

Uno de los temas estudiados durante el Grado en Física de la Universidad de Zaragoza son los sistemas dinámicos no lineales y en particular bajo qué condiciones son capaces de exhibir comportamiento caótico. Este estudio se hace desde un punto de vista teórico, introduciendo conceptos como las ecuaciones de Lorentz, los mapas unidimensionales, los fractales o los atractores extraños.

Sin embargo, es posible diseñar sistemas con un comportamiento caótico usando dispositivos electrónicos. Esto permite un doble objetivo: proporcionar una visión práctica de conceptos con un alto nivel de abstracción y, por otro lado, acercar la electrónica a temáticas de otras asignaturas.



Desde el punto de vista de la construcción del modelo mental del semiconductor, esta actividad supone una generalización de los conceptos desarrollados previamente, ya que el elemento clave que posibilita la implementación práctica del sistema caótico, como se detallará más adelante, es una resistencia de comportamiento no lineal, que se puede realizar mediante el uso de transistores MOSFET. Es decir, el modelo de semiconductor se refuerza y afianza mediante su generalización en una aplicación concreta, que es la de la construcción de un elemento no lineal basado en el dispositivo semiconductor fundamental, el transistor MOSFET.

### 5.3.2. Contexto

Entre las herramientas educativas 2.0 que permiten desarrollar entornos de aprendizaje enriquecido se encuentran las *WebQuest*, estrategia didáctica que permite una investigación dirigida y que fomenta un aprendizaje real en el alumno en temas específicos.

En esta Tesis se ha llevado a cabo el desarrollo de una *WebQuest* como recurso educativo complementario específico para los alumnos de la asignatura Técnicas Físicas III, asignatura obligatoria de cuarto curso del Grado en Física y perteneciente al módulo Técnicas Físicas (Tabla 2.2)). Esta asignatura está diseñada para adquirir y consolidar las habilidades necesarias para desarrollar trabajos experimentales en los diferentes campos de la Física, fomentando la iniciativa y la autonomía de los estudiantes, realizando un trabajo en equipo y, cuando sea posible, un trabajo colaborativo.

Una de las actividades que deben realizar los estudiantes, correspondiente al campo de la Electrónica, es la caracterización experimental de sistemas electrónicos inestables, oscilantes y caóticos. El objetivo de esta actividad es comprender las características principales de la dinámica y la estabilidad de los sistemas físicos no lineales, y de forma más concreta y en relación con el modelo mental de semiconductor, su realización práctica basada en el dispositivo semiconductor fundamental, que es el transistor MOSFET.

Los estudiantes, por lo tanto, se enfrentan al problema de diseñar un circuito caótico canónico utilizando componentes electrónicos simples, como amplificadores, resistencias, condensadores e inductores.

### 5.3.3. Recursos diseñados

Esta intervención se realizó usando la metodología de la *WebQuest*, planteando una actividad en forma de investigación guiada en la que los estudiantes siguen los pasos necesarios para construir y comprobar experimentalmente un circuito electrónico con comportamiento caótico.

De esta manera, los recursos diseñados se pueden dividir en dos grandes epígrafes:

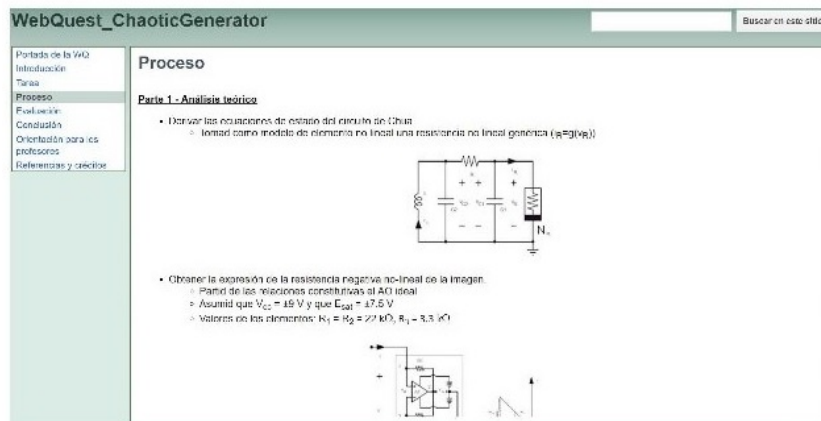
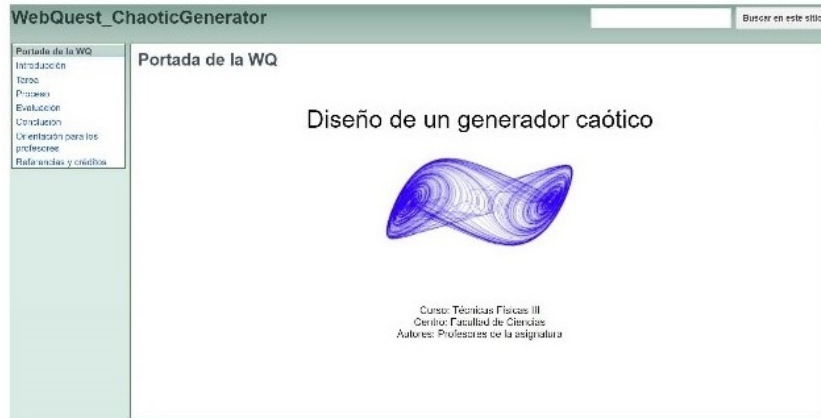
- Un circuito electrónico construido con componentes discretos que los alumnos deben replicar y medir.
- La *WebQuest* propiamente dicha, en la que siguiendo la estructura definida por Dodge (1995), se presenta a los alumnos el tema de la actividad, las tareas a realizar y la evaluación.

La *WebQuest* comienza con una sección de introducción con carácter motivador. En ella se realizó la contextualización de la actividad, explicando el concepto de caos y su campo de aplicación en comunicaciones seguras. En concreto:

- Presenta una serie de cuestiones para reflexionar sobre la necesidad de tener sistemas seguros para transmisión de información (¿Sabes cómo funcionan las tarjetas de crédito?, ¿son las transacciones bancarias seguras?).
- Incluye una serie de lecturas de carácter informativo y contextualizado como primera toma de contacto con el proceso de investigación.
- Dirige a los estudiantes a un primer contacto con el caos y sus aplicaciones de el punto de vista de la descripción física del fenómeno.
- Plantea el problema a resolver: el diseño de un sistema de encriptación de voz basado en caos para comunicaciones seguras.

En la siguiente parte de estructura de la *WebQuest*, la tarea, se detalló cómo se puede implementar un sistema electrónico con comportamiento caótico a partir de elementos de circuito discretos, presentando el sistema concreto que se busca implementar, el llamado circuito de Chua. Así, esta sección:

- Enumera las acciones que los estudiantes deben llevar a cabo para realizar el diseño y construcción del montaje experimental.



**Figura 5.13.:** Imágenes de la *WebQuest* desarrollada para la realización de la actividad teórico-práctica de estudio de sistemas caóticos. En la imagen superior se observa la página principal de la *WebQuest*, y en la inferior una captura de la sección de *proceso*, que describe los pasos que deben seguir los alumnos en el laboratorio.

- Presenta la descripción del sistema caótico que debe resultar de la tarea de investigación y que se comprobará posteriormente de laboratorio (circuito de Chua).
- Incluye una plantilla para la elaboración de un reporte técnico que presente los principales resultados y conclusiones de la actividad.

La tercera parte de la *WebQuest* es la de realización práctica. En ella se proporcionó a los alumnos unas instrucciones guionizadas con las que debían ser capaces de:

- Realizar la implementación del circuito de Chua seleccionando dispositivos discretos disponibles en el laboratorio
- Caracterizar experimentalmente el circuito implementado usando la instrumentación a su disposición.
- Reflejar el fundamento teórico del sistema, las tareas realizadas, y los resultados obtenidos en forma de un informe técnico de laboratorio.

La Figura 5.13 muestra un par de imágenes de la *WebQuest* desarrollada para esta acción de intervención. En ella, se puede observar la estructura de la *WebQuest*, así como una captura de la página de inicio y otra de la de descripción del proceso que deben seguir los alumnos en el laboratorio.

Como datos de investigación, se han recogido datos de observación, donde se analiza el proceso de análisis del circuito caótico, en particular en lo referente a la implementación práctica del elemento no lineal mediante una configuración basada en el uso de dispositivos semiconductores (el transistor MOSFET). Esto supone, como se ha comentado, una generalización del modelo mental de semiconductor hacia la consecución de un sistema complejo capaz de realizar una función no trivial basada en sus propiedades de comportamiento y operación. Por otro lado, se ha pedido a los alumnos que realicen un informe de laboratorio en el que detallen el proceso seguido (guiado a modo de andamiaje por la *WebQuest*) para llegar al circuito caótico, y también las observaciones experimentales realizadas sobre él. Todo lo anterior se ha analizado a través de una rúbrica diseñada de forma específica para tal fin, tal y como se muestra en la Figura 5.14.

Finalmente, la sección de conclusiones debe resumir los logros realizados en la *WebQuest* y fomentar el interés en profundizar en el tema, lo que se llevó a cabo extendiendo el concepto de sistema caótico para mostrar sus capacidades de sincronización.

	Elementos de valoración
Sesión 1: Sistema de primer orden (generador de señal rectangular)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se demuestra correctamente la condición de inestabilidad.</li> <li>El cálculo de <math>R_1</math> es correcto.</li> <li>Se proporciona un valor realista de <math>R_1/R_2</math> para conseguir una onda cuasitriangular.</li> <li>El espectro frecuencial de la señal se corresponde con el de una onda cuadrada.</li> </ul>
Sesión 2: Sistema de segundo orden (generador de señal sinusoidal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se deduce la EC para el caso de cuadrupolo general D(s)</li> <li>Se deducen los valores más próximos de los componentes pasivos de la serie del 5%.</li> <li>Se justifica adecuadamente el resultado de amplitud y frecuencia para cada valor de <math>R_3</math>.</li> <li>Se interpreta adecuadamente resultados de amplitud, frecuencia y THD.</li> </ul>
Sesión 3: Sistema de tercer orden (generador de señal caótica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se derivan correctamente las ecuaciones de estado del circuito de Chua.</li> <li>Se deduce correctamente la característica i-v de una resistencia negativa.</li> <li>Por simulación, se proporcionan evidencias de la ruta hacia el caos con al menos las siguientes bifurcaciones: equilibrio, periodo-1, periodo-2, periodo-4, atractor de Rössler, atractor double scroll y ciclo límite externo.</li> <li>Experimentalmente, se justifican los resultados de la ruta hacia el caos: equilibrio, periodo-1, periodo-2, periodo-4, atractor de Rössler, atractor double scroll y ciclo límite externo, en los tres dominios: temporal, frecuencial y espacio de fases.</li> </ul>
Informe Final	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se estructura la memoria en al menos: análisis teórico, diseño, simulación, experimentación y conclusiones. <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis teórico: se proporcionan respuesta de las cuestiones planteadas en la guía de la actividad.</li> <li>Diseño: se incluyen los circuitos y valores ideales de los componentes utilizados, y los valores nominales esperados.</li> <li>Simulación: se incluyen los valores de los componentes utilizados y los resultados obtenidos.</li> <li>Experimentación: se incluyen los valores nominales de los componentes y los resultados esperados y medidos.</li> </ul> </li> <li>Se describe con detalle el proceso de medida e instrumentación empleada.</li> <li>Se comentan las posibles incidencias que han surgido y cómo se han resuelto.</li> <li>Se interpretan y comparan los resultados teóricos, de simulación y experimentales. Se incluye un breve apartado de conclusiones.</li> </ul>

**Figura 5.14.:** Rúbrica diseñada para la evaluación de la actividad de estudio de sistemas caóticos, realizada siguiendo la metodología de la *WebQuest*.

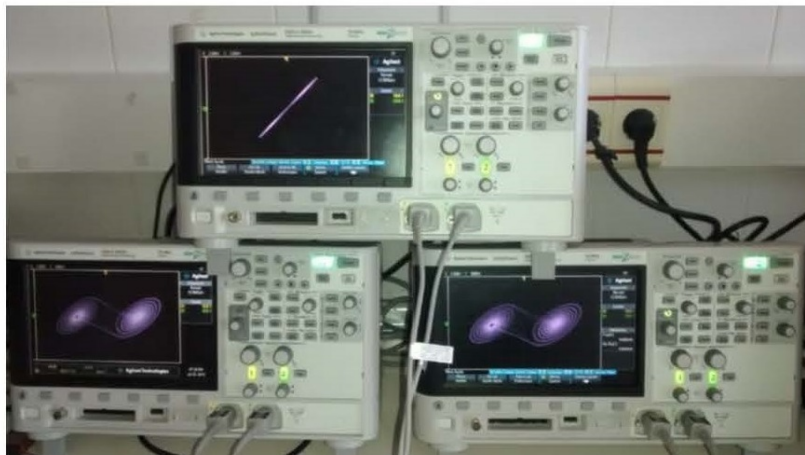
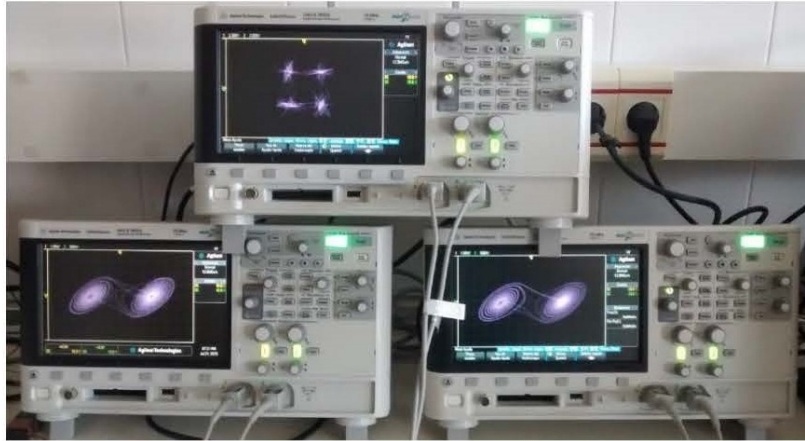
En efecto, usando dos de los sistemas caóticos implementados, se propuso a los estudiantes que los sincronizaran, logrando que ambos tuviesen un comportamiento exactamente idéntico. Además, se propuso un ejemplo de aplicación práctica, mostrando que un sistema formado por dos de los circuitos caóticos desarrollados es capaz de encriptar y desencriptar señales de audio. Este sistema se puede conectar al teléfono móvil y comprobar las diferencias entre la señal encriptada (esencialmente una señal ruido) y la señal desencriptada, prácticamente idéntica a la señal original.

### 5.3.4. Resultados

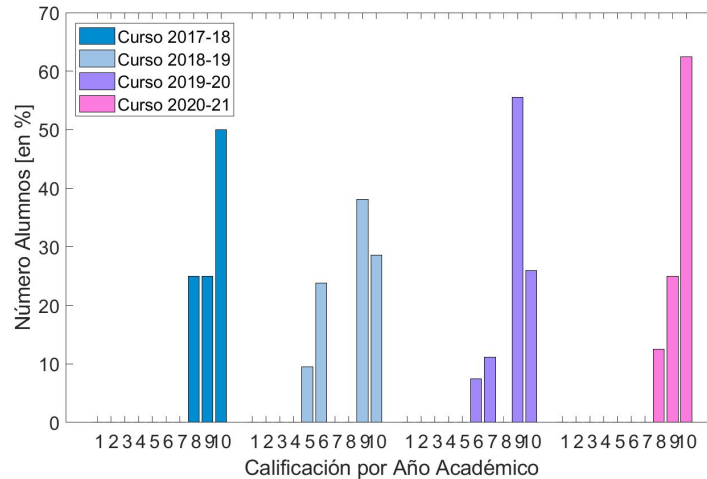
La Figura 5.15 muestra un par de imágenes de los resultados experimentales obtenidos por los alumnos a partir de sus montajes de laboratorio, en los que se puede apreciar la existencia de caos. La imagen de la derecha, además, muestra la existencia de sincronización entre los montajes realizados de forma independiente por dos grupos distintos.

Tras analizar el proceso de aprendizaje del alumno, y analizar los informes reflexivos que cada grupo entregó de acuerdo con la rúbrica presentada en la Figura 5.14, se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 5.16.

Se puede observar cómo desde la aplicación de la estrategia basada en el uso de la *WebQuest*, en el curso 2019-2020, ha habido una mejora significativa de las calificaciones de los alumnos, sobre todo en el sentido de que éstas se han ido



**Figura 5.15.:** Resultados experimentales obtenidos por los alumnos a partir de sus montajes de laboratorio. Se puede apreciar la existencia de caos y además (imagen inferior) la existencia de sincronización entre dos montajes realizados de forma independiente por dos grupos distintos.



**Figura 5.16.:** Calificaciones obtenidas por los estudiantes de Técnicas Físicas III en las sesiones laboratorio dedicadas al estudio del caos.

alejando de las calificaciones de aprobado para concentrarse todas en las de notable y sobresaliente.

En relación a la construcción del modelo, se obtienen resultados que permiten concluir que la mayoría de los alumnos han relacionado correctamente el comportamiento de los materiales semiconductores con su realización práctica en forma de dispositivos (transistor MOSFET), siendo capaces de generalizar dicho comportamiento para entender, implementar y comprobar experimentalmente un sistema de comportamiento complejo, no lineal, basado en ellos. Como ejemplo de esto, podemos indicar que la mayoría de los alumnos fueron capaces de describir el comportamiento no lineal de la resistencia negativa implementada basándose en el transistor MOSFET de forma analítica usando el modelo de transistor (y por tanto de semiconductor) desarrollado hasta el momento, así como de analizar y explicar correctamente los distintos caminos conducentes hacia el caos en el circuito basado en los valores de los parámetros involucrados.

## 5.4. Aplicación al aprendizaje de los MEMS

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016a) Using the Wiimote to Learn MEMS in a Physics Degree Program. *IEEE Transactions on Education* 59.(3), 169-174.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014c) MEMS: From the classroom to the Wii. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 1-5.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) E-learning data base for a Wiki-MEMS. *International Congress on Education, Innovation and Learning Technology (ICEILT)*, 28.

### 5.4.1. Descripción

Uno de los campos de aplicación de la Electrónica que está experimentando un mayor avance en los últimos años es su combinación con técnicas de fabricación de sistemas mecánicos en miniatura, lo que ha dado lugar a los llamados sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS).

Estos sistemas, que en esencia permiten construir máquinas funcionales a escala micrométrica, encuentran multitud de campos de aplicación en la actualidad, tales como comunicaciones, microfluidica, biomedicina o automoción. Existen muchos tipos de MEMS (sensores de presión, microespejos, bombas de fluido, sistemas piezoeléctricos...), pero uno de los más utilizados son los acelerómetros, que es el dispositivo que se va a usar para esta intervención.

Un acelerómetro es un tipo de MEMS que mide aceleración, tanto estática (la gravedad) como dinámica. Tienen múltiples aplicaciones, entre las que las más conocidas son su uso en los sistemas de *airbag* de los vehículos, la estabilización de *drones* o la detección de vibraciones indeseadas en maquinaria. En la actualidad, además, la mayoría de dispositivos móviles (teléfonos y tabletas) cuentan con acelerómetros en su interior, y están presentes también en numerosos sistemas de videojuegos para seguir el movimiento de los controles remotos.

### 5.4.2. Contexto

Como se ha analizado en la Sección anterior, uno de los campos en los que se hace mayor hincapié en los planes de estudio de las disciplinas científicas y tecnológicas



es la adquisición de competencias en el ámbito de la experimentación y del trabajo en el laboratorio.

La siguiente acción de intervención en el aula desarrollada en el marco de esta Tesis persigue incidir en la adquisición de competencias instrumentales de trabajo en el laboratorio, en particular en el marco de la asignatura Micro y Nano Sistemas, asignatura optativa del Grado en Física que se imparte en el segundo cuatrimestre y está disponible para alumnos tanto de tercero como de cuarto curso. Consta de 5 créditos ECTS distribuidos en 3 ECTS de adquisición de conocimientos sobre los contenidos de la asignatura, 1 ECTS de resolución de problemas relacionados, más 1 ECTS de experiencias de laboratorio.

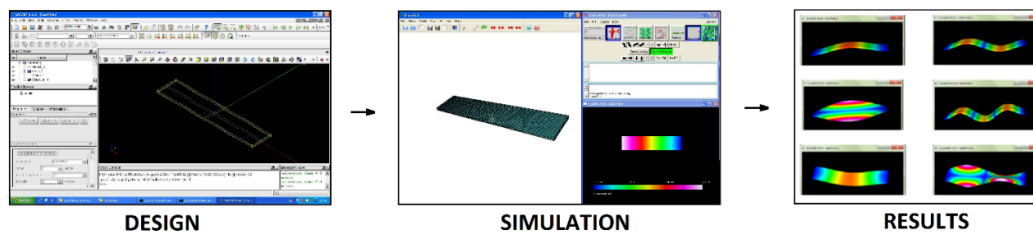
Es una asignatura pensada para ofrecer al alumnado el primer contacto con algunos descriptores del área temática de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, en particular de Microelectrónica y Nanotecnología, y presentada para complementar algunos aspectos que no se pueden abordar en la asignatura obligatoria Electrónica Física.

El objetivo de la presente acción es el de introducir a los alumnos en el uso de las herramientas profesionales para el diseño y caracterización de un MEMS a través de una realización comercial específica: el MEMS utilizado por la conocida plataforma de juegos Nintendo Wii. De esta manera, el proyecto adapta a un entorno académico los pasos conducentes a la fabricación de un MEMS, desde su diseño, utilizando software específico, a su caracterización experimental después de la fabricación.

### 5.4.3. Recursos diseñados

Para esta acción de intervención, se ha realizado una adaptación de las técnicas de simulación de propiedades físicas basadas en herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD: *computer-aided design*) y de control de instrumentación para implementar en dos sesiones de laboratorio un proceso de diseño y caracterización equivalente a una situación real.

Como primer paso, se realizó una introducción teórica sobre los fundamentos de los MEMS. En esta primera etapa, se prefirió el uso de la lección magistral para conseguir una transición de anclaje hacia el trabajo activo de los alumnos. En esta introducción se cubrió dos aspectos principales: la descripción teórica de un acelerómetro MEMS y una revisión general de las herramientas de diseño y simulación de los sistemas MEMS.



**Figura 5.17.:** Etapas del proceso de diseño y simulación de un sistema MEMS (un cantilever) utilizando los programas Elmer y Salome.

Esta etapa se dividió en seis sesiones en las que se analizó:

- Tipos de acelerómetros y principio de operación (uso de hojas de especificaciones).
- Tecnologías de fabricación de MEMS.
- Herramientas de diseño y simulación de MEMS por ordenador (Cadence, Elmer, Salome).

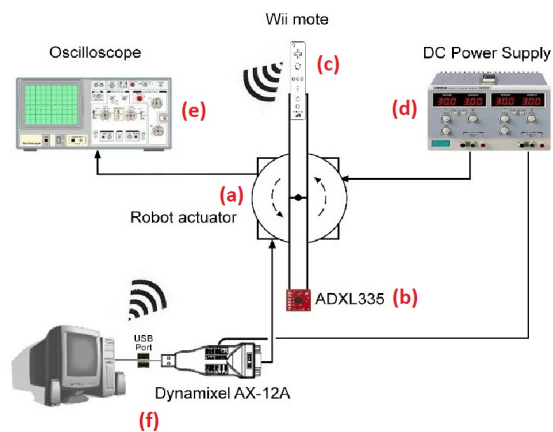
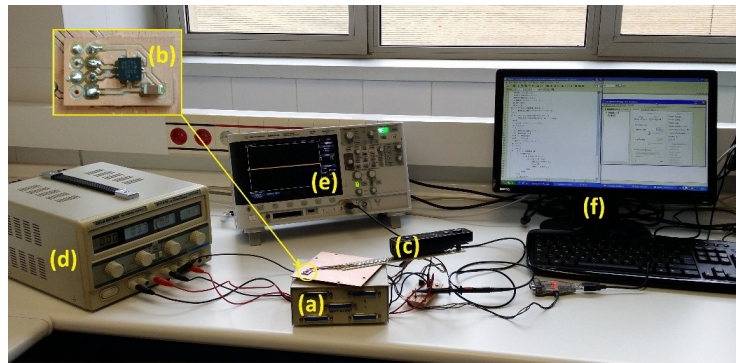
Las herramientas *software* utilizadas, que fueron el compilador de silicio Cadence y los programas de diseño Elmer y Salome, se impartieron mediante una estructura de seminarios web (o *webinars*) ya que se adaptan mejor a la exploración de temas especializados en profundidad y de manera colaborativa, promoviendo la participación activa de los estudiantes.

Debido a restricciones de horario y la elevada complejidad del curso de Micro y Nanosistemas, los alumnos no diseñaron un acelerómetro completo, sino un cantilever, elemento fundamental de su operación. La Figura 5.17 muestra imágenes el proceso seguido por los alumnos para completar el diseño y simulación del cantilever usando los programas Elmer y Salome.

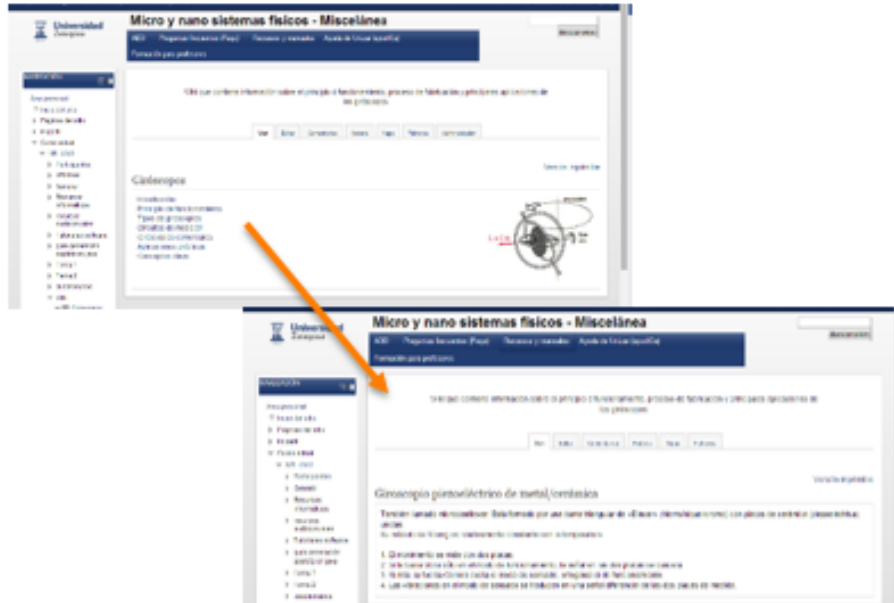
Tras las fases de diseño y simulación del cantilever como elemento fundamental de operación de un acelerómetro MEMS, los alumnos realizaron la caracterización experimental del comportamiento de un acelerómetro comercial de tipo MEMS, el modelo ADXL 335 de Analog Devices.

Además, para dar un carácter más aplicado y motivador a dicho estudio, se pidió a los alumnos que también realizaran la caracterización experimental de dicho sistema usando un elemento comercial que lo incorpora, el control remoto de la videoconsola Nintendo Wii (el llamado Wiimote).

Para realizar el proceso de medida, en el que se exploraron diversas maneras de caracterizar el acelerómetro para obtener su aceleración angular y lineal, los



**Figura 5.18.:** Imagen del montaje en el laboratorio que permite realizar la caracterización experimental del acelerómetro comercial, con detalle de la placa sobre la que va montaje el chip integrado ADXL 335 (superior) y de su representación esquemática (inferior), con detalle de la correspondencia entre elementos.



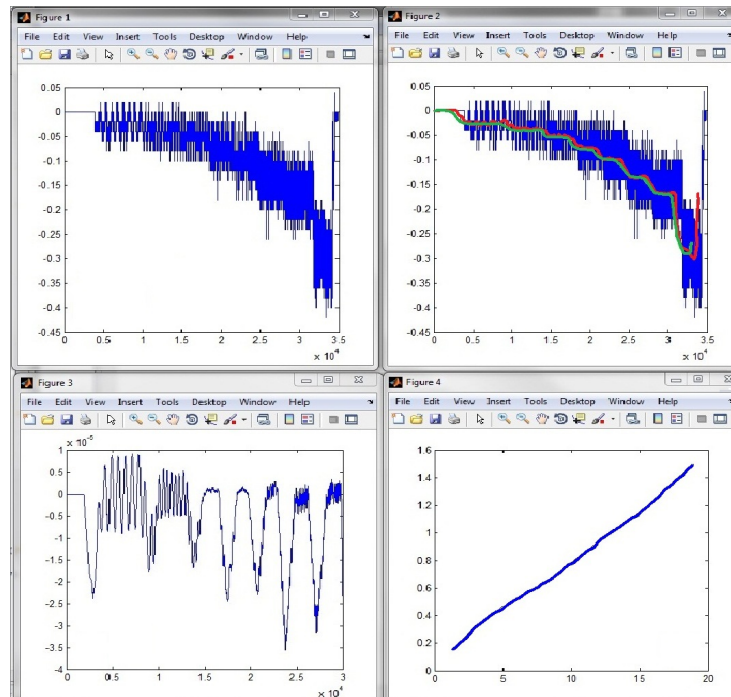
**Figura 5.19.:** Imagen ilustrativa de la Wiki dedicada a los sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS).

alumnos implementaron un montaje experimental que incorporaba, además del acelerómetro, el actuador robótico controlado por USB Dynamixel AX-12A y una superficie mecanizada para integrar el acelerómetro tal y como se ilustra en la Figura 5.18.

Cada actuador robótico tiene un microprocesador embebido que facilita la comunicación a través del bus de datos, la obtención de información sobre la posición, temperatura, carga... así como una serie de elementos personalizables que permiten al usuario adaptarlo a su aplicación. El actuador se controla a través del PC mediante el software USB2Dynamixel.

Los estudiantes deben caracterizar la aceleración del acelerómetro comercial ADXL 335 en los tres ejes y comprobar que son correctas mediante su comparación con los datos indicados en la hoja de especificación.

Una vez han realizado las pruebas sobre el acelerómetro comercial, los estudiantes las repiten con un montaje en el que se instala el Wiimote. Realizando pruebas similares a las hechas para el acelerómetro comercial, y usando los mismos conceptos teóricos, los estudiantes debían ser capaces de adivinar a partir de los datos de aceleración que obtienen cuál es la posición del acelerómetro dentro del propio Wiimote.



**Figura 5.20.:** Cálculos realizados por los alumnos para caracterizar el acelerómetro comercial y averiguar su posición dentro del Wiimote.

Los estudiantes realizaron un informe final, basado en una plantilla estructurada proporcionada al principio del curso, detallando de forma rigurosa y ordenada todo el proceso de medida (*setup*, adquisición de datos y tratamiento), así como las conclusiones obtenidas y su relación con los principios teóricos involucrados. La Figura 5.20 muestra una imagen ilustrativa de los cálculos que los alumnos deben realizar, en entorno Matlab, para caracterizar el acelerómetro comercial y también para averiguar la posición que éste tiene posición dentro del mando de la videoconsola Nintendo Wii (el Wiimote).

También se realizó el diseño de una página web de tipo Wiki, que es un sitio web que puede ser editado de forma simultánea por varios usuarios a través de un navegador web. En este caso, se utilizó el propio entorno que ofrece la plataforma online de nuestra institución (Moodle) para realizar la Wiki, tal y como se ilustra en la Figura 5.19.

La actividad se presentó y explicó en una sesión expositiva, y se proporcionó una plantilla en Moodle para que sirviese de base para su desarrollo. Los estudiantes, por grupos, debían elegir al menos un tipo de MEMS de los explicados en clase para trabajar, usando todos los recursos disponibles en Internet para integrarlos en la Wiki. También se les pedía que, junto con la descripción del principio de

operación de los MEMS elegidos, buscasen ejemplos de aplicación de su uso en sistemas reales.

#### 5.4.4. Resultados

Mediante esta actividad, en relación a la construcción del modelo, se ha producido una generalización del modelo de semiconductor desarrollado hasta el momento, materializada en una realización concreta y como es un MEMS, y en particular un acelerómetro. Además, esta generalización se ha realizado en el marco de una aplicación concreta y de tipo comercial, como es su presencia en el control remoto de una conocida plataforma de videojuegos.

De los informes realizados por los estudiantes se pudo observar, en primer lugar, que las herramientas de diseño y simulación por ordenador utilizadas, además de permitir una visualización de la estructura y el comportamiento del acelerómetro, permitieron acercar el contexto de aprendizaje a una situación reales, generalizando el modelo mental de semiconductor a través de una aplicación concreta y contextualizada, y por lo tanto acercándolo a un modelo mental más real.

Además, esto se producía analizando en paralelo un sistema con el acelerómetro comercial expuesto y el mando de la Wii, en el que el acelerómetro comercial está oculto bajo la carcasa. Esto permitió a los estudiantes generalizar el modelo mental de semiconductor a través de la aplicación práctica propuesta y de la inferencia de la utilidad práctica de la operación del dispositivo semiconductor para realizar una función concreta, como es en este caso conocer el movimiento del mando de la videoconsola. En este sentido, los estudiantes fueron capaces, analizando los datos y comparando las similitudes entre ambos montajes, de averiguar cuál es la localización del acelerómetro MEMS en el mando de la Wii (que es debajo del botón 'A').

### 5.5. Aplicación a temas generales de Electrónica

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016d) Seminarios Web 'Electrónica enredada'. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 429-436.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016) Electrónica enREDada: An experience with a webinar program. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAD)*, 78-83.

### 5.5.1. Descripción

Una parte importante del currículo de las asignaturas del área de Electrónica está orientada a que los alumnos conozcan, por un lado, las técnicas de fabricación de sistemas electrónicos actuales y, por otro, que tengan una visión general de las principales aplicaciones que tienen los sistemas y dispositivos estudiados de forma teórica.

Para esto, se diseñaron recursos de carácter más divulgativo en formato de seminarios web (*webinars*). Dichos *webinars* forman parte de un programa de formación impartido por expertos internacionales con amplia experiencia en sus campos al que se tiene acceso gracias a la pertenencia del grupo de investigación de los docentes al consorcio del proyecto europeo EUROPRACTICE.

Esto es especialmente importante en la situación actual, ya que proporciona una visión realista de oportunidades de carrera profesional en el campo de la microelectrónica, a la vez que introduce las herramientas que se utilizan en el sector industrial. Además, el acceso a los *webinars* está fuera del alcance de los estudiantes debido a su exclusividad y alto coste.

### 5.5.2. Contexto

En el contexto del encargo docente del área, los seminarios se utilizan como una de las metodologías para la presentación guiada o tutorial sobre las herramientas que van a emplear en las diferentes asignaturas, de manera que adquieran las capacidades necesarias para abordar una primera fase de estudio. Es un método didáctico que, al igual que las sesiones prácticas, enfatiza en la importancia del alumno en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Una actualización de esta metodología basándose en TAC son los *webinars*. La creación de un programa de *webinars* particularizados para estudios de Grado y



Figura 5.21.: Carteles anunciadores de algunos de los *webinars* desarrollados.

Máster en Física y Tecnologías Físicas facilita complementar los programas docentes específicos de cada asignatura en el ámbito de la Electrónica con experiencias que permitan conocer los métodos y peculiaridades del trabajo científico.

Los *webinars* programados a lo largo del curso facilitan el acceso a programas de formación específicos, pensados para profesionales del sector en sus distintos niveles e impartidos por expertos con amplia experiencia en sus campos, que de otra manera quedarían fuera de su alcance debido a su elevado coste económico y a su exclusividad, a la vez que los introduce al uso de herramientas ampliamente utilizadas en el ámbito industrial. También hay un conjunto de *webinars* destinados a fomentar el conocimiento y aplicaciones de la Electrónica cuyo contexto de aplicación va más allá de los alumnos matriculados en la disciplina.

### 5.5.3. Recursos diseñados

El programa de *webinars* consiste en dos módulos, uno síncrono y de carácter especializado, que consta de cuatro sesiones que tratan sobre el diseño y fabricación de circuitos integrados micro electrónicos. En concreto, estos temas, que se presentan de forma remota en sesiones virtuales haciendo uso de los recursos de enseñanza proporcionados por el consorcio EURO PRACTICE a sus miembros, son:

- *Virtuoso Electronic Design Environment*: visión general de las herramientas de diseño asistido por ordenador (15 minutos).



- *Virtuoso Schematic Editor*: introduce a la herramienta para la creación de representaciones esquemáticas de circuitos electrónicos (15 minutos).
- *Virtuoso Analogue Simulation Techniques*: describe la herramienta para la realización de simulaciones analógicas de circuitos electrónicos (30 minutos).
- *Virtuoso Layout Editor*: describe la herramientas para generar el layout de circuitos electrónicos a partir de su representación esquemática (30 minutos).

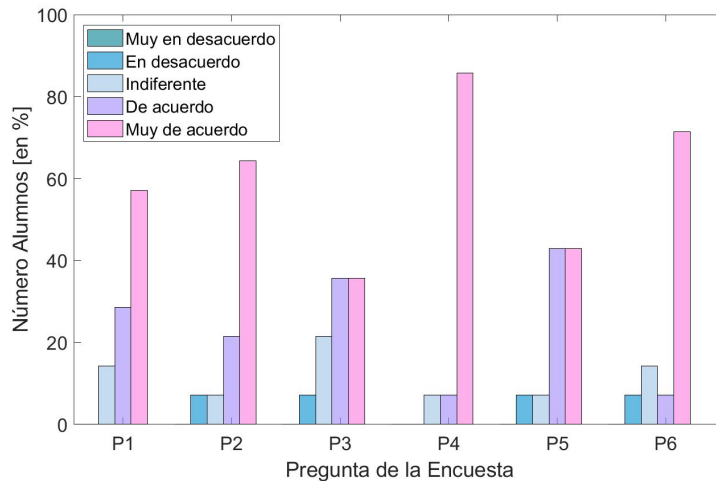
El aprendizaje en el segundo módulo es asíncrono y distribuido y está destinado alumnos de la disciplina marco de esta Tesis y de otros grados relacionados. Los *webinars* de este módulo se dividen dos categorías: los designados a fomentar el conocimiento de Electrónica y sus aplicaciones, y los que constituyen una forma de aprendizaje mixto. La Figura 5.21 muestra capturas de los carteles preparados para anunciar algunas de las sesiones de *webinars* desarrolladas como parte de esta acción de intervención en el aula.

#### 5.5.4. Resultados

Los *webinars* desarrollados tienen un campo de aplicación amplio dentro del estudio de la Electrónica, y por su naturaleza se ha buscado cubrir desde un punto de vista informativo y didáctico los aspectos más generales involucrados. Es por esto que han sido usados de manera transversal en distintos cursos y temas, como por ejemplo el relativo al diseño y fabricación de MEMS detallado en la Sección anterior, al que corresponde una de las categorías de *webinars* del módulo asíncrono.

La efectividad del uso de *webinars* en el proceso de enseñanza-aprendizaje es difícilmente evaluable por separado, como ocurre con otras acciones de intervención concretas. Teniendo esto en cuenta, se llevó a cabo una encuesta para investigar la opinión de los estudiantes sobre el desarrollo de la actividad y para conocer sus reflexiones la influencia de las actividades en su proceso de aprendizaje, preguntando a los alumnos si:

- P1: Los *webinars* les han ayudado a entender los conceptos tratados en clase.
- P2: Los *webinars* les han ayudado a establecer conexiones entre los conceptos teóricos y las aplicaciones industriales.
- P3: Han podido seguir los materiales con normalidad.
- P4: Creen que el uso de herramientas profesionales es positivo.



**Figura 5.22.:** Resultados de la encuesta de satisfacción llevada a cabo en la asignatura Micro y Nano Sistemas durante el curso 2016-17 acerca de la inclusión de *webinars* entre las actividades docentes.

- P5: La dificultad de las actividades llevadas a cabo ha estado de acuerdo a su conocimiento.
- P6: El curso ha aumentado su interés en la Electrónica.

Tal y como se muestra en la Figura 5.22, los estudiantes en general han apreciado muy positivamente la oportunidad de utilizar herramientas informáticas profesionales del diseño de microsistemas y circuitos integrados. Además, una amplia mayoría está de acuerdo en que los materiales complementarios han contribuido a conseguir una mejor comprensión de los temas del curso mejorando la contextualización del contenido, su interés y motivación.

Desde el punto de vista de la construcción del modelo mental del semiconductor, la contribución del programa de seminarios web ha consistido, en primer lugar, en extender las nociones básicas de la estructura y comportamiento de los semiconductores mediante el análisis de su proceso de fabricación en un entorno industrial real. Es decir, se hace una descripción de los pasos necesarios para fabricar dispositivos semiconductores tomando como base las nociones teóricas conocidas de cómo se comportan los semiconductores y los dispositivos fabricados con ellos en función de sus características estructurales.

Por otro lado, los seminarios han contribuido también a aumentar el grado de generalización de los materiales y dispositivos semiconductores, extendiéndolo a una combinación de aplicaciones complejas, tanto desde el punto de vista de su diseño y simulación, como de sus aplicaciones comerciales.

De forma concreta, se pudo observar cómo, en lo referente a los pasos de fabricación de un semiconductor, los alumnos en general eran capaces de identificar sin ningún problema los pasos necesarios para cada proceso ya que tenían desarrollada la noción de cuál era el objetivo en cada caso (difundir o implantar dopantes, delimitar las zonas de actuación de los dopantes, eliminar las máscaras...).

En lo referente a las herramientas de simulación, un resultado destacable fue que la mayoría de alumnos consiguieron relacionar sin dificultad los *layouts* de los distintos elementos integrados (y en particular de los transistores MOSFET) con sus equivalentes en el esquemático, lo que en general constituye una de las mayores dificultades en las primeras etapas del aprendizaje de la electrónica.

## 5.6. Resultados obtenidos de la intervención en el aula en la secuenciación de actividades planificada

En la Figura 5.23 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las actividades de intervención en el aula descritas en las Secciones anteriores en el marco de la secuenciación de actividades descrita en la Sección 3.3.

## 5.7. Construcción de un entorno general configurable (ELIGE)

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2019) ICT-based didactic strategies to build knowledge models in Electronics in Higher Education. *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1-5.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2018a) Estrategia didáctica basada en TIC para construir modelos mentales en física en educación superior. *28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 145-150.



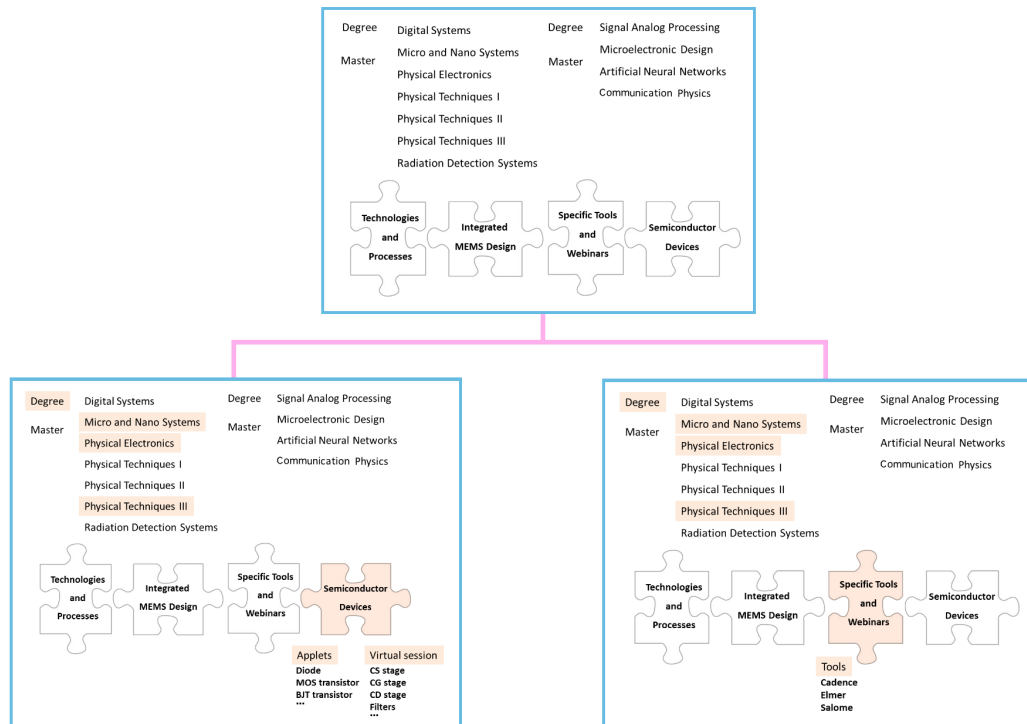
**Figura 5.23.:** Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos con los resultados obtenidos.

### 5.7.1. Descripción

En las Secciones anteriores se han detallado intervenciones centradas en utilizar metodologías y recursos basados en TAC para conseguir una mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en temas relacionados con la enseñanza de la Electrónica en el contexto de titulaciones de grado y máster, tanto de Física como de Ingeniería. Es decir, se ha tratado de intervenciones enfocadas en asignaturas y contenidos concretos.

En el marco de la presente Tesis Doctoral, las dos siguientes secciones describen experiencias que buscaron extender el contexto y objetivo de las intervenciones realizadas para que tuvieran un carácter más transversal, y para que se enfocasen a atender las necesidades de los alumnos que cursan asignaturas relacionadas con la Electrónica, pero de forma genérica y sin circunscribirse a un curso concreto. Es decir, se buscó reorientar el diseño de los recursos o introducir nuevos recursos que permitiesen un uso individualizado y descontextualizado.

Siguiendo con el propósito de establecer acciones de intervención transversales, centradas en los estudiantes y no tanto en un curso o tema en concreto, se decidió reunir y dar formato a los recursos que se habían ido generando para que los



**Figura 5.24.:** Esquema del funcionamiento del entorno virtual de aprendizaje desarrollado (ELIGE), en el que se muestran dos posibles opciones de configuración por parte de los alumnos.

estudiantes pudiesen acceder a ellos en función de sus necesidades y así configurar su propio portafolio o itinerario de aprendizaje.

Se desarrolló un entorno de aprendizaje de tipo *blended learning* llamado ELIGE (*e-Learning Itinerary Global Environment*). En concreto, se creó un curso no reglado de Moodle en el que se dejó a disposición de los alumnos una colección de recursos docentes para dar la posibilidad de elegir entre distintos itinerarios en función del perfil del estudiante.

la Figura 5.24 muestra un esquema del funcionamiento del entorno virtual de aprendizaje desarrollado: Los recursos desarrollados y puestos a disposición de los alumnos (*applets*, herramientas de simulación, *vodcasts*, *WebQuest*, apuntes enriquecidos, *webinars*, manuales, hojas de especificaciones, cuestionarios, wikis...) se agrupan por temáticas y los alumnos, en función de su perfil (Grado o Máster) y de las asignaturas en las que estén matriculados, pueden elegir qué recursos utilizar, configurando un entorno de aprendizaje personalizado.

## 5.7.2. Contexto

Como se ha comentado, el objetivo perseguido con esta actividad es el desarrollo de un entorno de carácter transversal que pueda ser utilizado por todos los alumnos matriculados en asignaturas relacionadas con el área de Electrónica, independientemente de su nivel formativo (Grado en Física o Máster en Física y Tecnologías Físicas) y de las asignaturas concretas en las que están matriculados, permitiendo configurar un entorno adaptado a sus necesidades.

De forma concreta, el recurso estaba disponible para todos los alumnos matriculados en alguna de las siguientes asignaturas:

- Grado en Física:
  - Sistemas Digitales.
  - Micro y Nano Sistemas.
  - Electrónica Física.
  - Técnicas Físicas I, II y III.
- Máster en Física y Tecnologías Físicas
  - Física de las Comunicaciones.

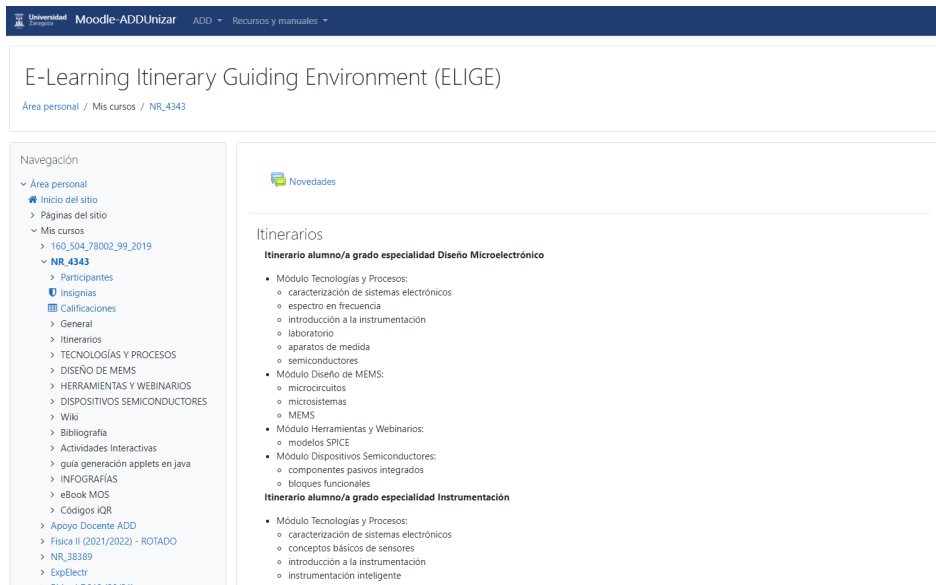
Así, se pretende que los recursos puestos a disposición de los alumnos constituyan un conjunto completo de herramientas para el proceso de aprendizaje enseñanza de estas asignaturas, así como para su evaluación.

## 5.7.3. Recursos diseñados

La plataforma de aprendizaje ELIGE, como se ha comentado, almacena todos los recursos que se han ido desarrollando en el marco de las acciones descritas en la presente Tesis Doctoral, y que se han ido describiendo en las secciones anteriores.

Además, con el objetivo de dar completitud a los recursos, se proporcionó un conjunto de *vodcasts* diseñados como clases expositivas tradicionales en las que se presentaban los fundamentos teóricos principales de los temas estudiados en cada curso.

El entorno se presentó como un curso no reglado en Moodle (Figura 5.25) en el que además se proporcionó, a modo de ayuda, una sugerencia de itinerarios propuestos



**Figura 5.25.:** Imagen de la página de Moodle de acceso al entorno de aprendizaje virtual ELIGE.



**Figura 5.26.:** Dos ejemplos de itinerarios con los bloques temáticos implicados y los recursos utilizados para que los alumnos puedan configurar su portafolio.

para que sirviese de base a los alumnos para la configuración del suyo propio. Esto se ilustra de forma esquemática en la Figura 5.26, que muestra dos ejemplos de posibles itinerarios que pueden elegir los estudiantes, con los bloques temáticos implicados y los recursos utilizados para configurar su portafolio.

#### 5.7.4. Resultados

En su concepción, la plataforma virtual de aprendizaje ELIGE se configuró como una herramienta de apoyo extracurricular y no como una actividad de aprendizaje reglada y calificable que pudiese ser realizada con los recursos que en ella se recogen. Es por esto que no existen datos de su eficiencia como herramienta de aprendizaje que complementen a los presentados en las Secciones 1 a 7.

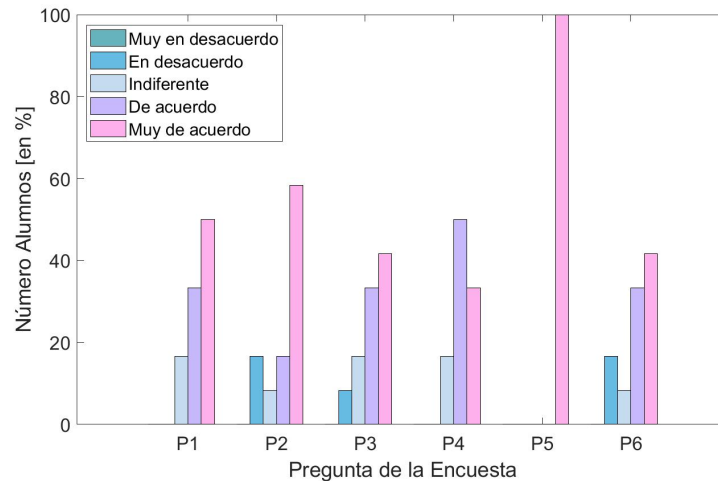
Sin embargo, de su aplicación en las actividades concretas y del análisis llevado a cabo del rendimiento de los estudiantes que hicieron uso de ella, se pudo concluir que el entorno virtual de aprendizaje ELIGE mejora los resultados de aprendizaje de la siguiente manera:

- Mejora la comprensión de los fenómenos físicos detrás de la operación de los dispositivos semiconductores y los micro y nanosistemas, presentando una descripción visual que complementa el enfoque analítico tradicional.
- Fomenta el uso de apps específicas para el estudio de los procesos, lo que se traduce en una comprensión más profunda de los conceptos relacionados.
- Permite el uso de herramientas informáticas específicas para el diseño y simulación, logrando una familiarización con recursos profesionales.
- Fomenta el trabajo colaborativo en un entorno realista.
- Fomenta la autonomía de los estudiantes y una enseñanza activa y participativa.
- Proporciona condiciones para que se establezca un aprendizaje por pares.

Además, se realizó un test de satisfacción para conocer la opinión de los estudiantes en lo referente al uso de la herramienta, en la que se quiso conocer aspectos como:

- P1: La variedad de recursos didácticos presentes en el entorno de aprendizaje virtual ha contribuido positivamente al proceso de aprendizaje.





**Figura 5.27.:** Resultados de la encuesta de satisfacción sobre el entorno de aprendizaje virtual ELIGE pasada a los alumnos de la asignatura Electrónica Física durante el curso 2018-19.

- P2: La estructura basada en un itinerario del entorno promueve una mejor comprensión de los temas y sus relaciones.
- P3: Las herramientas de visualización y virtualización puestas a disposición en el entorno ayudan a una mejor comprensión de los conceptos teóricos.
- P4: El nivel de dificultad de los recursos y actividades propuestas está de acuerdo con el conocimiento de los estudiantes.
- P5: El entorno de aprendizaje virtual ha aumentado la colaboración entre pares de los estudiantes.
- P6: El entorno de aprendizaje virtual ha aumentado el interés por la Electrónica de los estudiantes.

La Figura 5.27 muestra los resultados obtenidos en una encuesta con las preguntas anteriores que se realizó a los estudiantes. Se puede observar que de forma general existe un elevado grado de satisfacción y apreciación del entorno virtual de aprendizaje ELIGE y de los recursos puestos a disposición de los alumnos, y especialmente que dicho recurso ha fomentado la generación de relaciones de cooperación entre ellos.

## 5.8. Aplicación a la acción tutorial

La aplicación que se va a describir en los siguientes párrafos queda detallada en las siguientes publicaciones internacionales:

- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2019) Open educational resources to implement an online tutoring. *International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI)*, 2410-2416.
- Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C., Celma, S., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2019) Intervención en el aula basada en recursos educativos de libre acceso. *V Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC)*, 647-651.

### 5.8.1. Descripción

Se ha comentado en el Capítulo 4 que la tutoría académica es una parte fundamental de las obligaciones docentes del profesorado universitario y que tiene como una de sus principales misiones la individualización y personalización de la enseñanza, a la vez que favorece la motivación del alumno y su relación con el profesor y facilita las tareas de evaluación y calificación.

Con esta intervención se buscó llevar a cabo una actualización del concepto de tutoría mediante el uso de TAC, añadiendo ventajas como la disponibilidad y repetitividad bajo demanda, y permitiendo un aprendizaje ubicuo dentro de los nuevos entornos de aprendizaje emergentes.

Este nuevo paradigma de tutoría, llamado tutoría académica de tipo 2.0, debe ser complementaria a la tutoría tradicional o cara a cara (F2F: *face-to-face*) y para su implementación son clave los recursos en código abierto, que pueden tener un propósito educacional (por ejemplo cursos completos o materiales didácticos) o instrumental (por ejemplo piezas específicas de software).

De una manera complementaria a la descrita en la Sección anterior, en la que eran los alumnos quienes haciendo uso de su autonomía configuraban un portafolio de aprendizaje específico y adaptado a sus necesidades, en esta nueva acción lo que se busca es que sea el profesor quien, tras conocer la opinión de los estudiantes, realice una selección de los recursos que estima más convenientes para proponerlos como parte de una acción tutorial académica de tipo 2.0.

Esta nueva forma de tutoría académica de tipo 2.0 es compatible con la presencial, y aporta al estudiante las ventajas de disponibilidad y repetitividad a demanda. De esta manera, es compatible con un aprendizaje ubicuo en los nuevos entornos emergentes de aprendizaje.

### 5.8.2. Contexto

Al igual que se ha justificado en la Sección anterior, esta acción de intervención tiene una naturaleza transversal y su ámbito de aplicación, dada la gran variedad de recursos desarrollados y la amplitud temática que abarcan, corresponde a los alumnos matriculados en todas las asignaturas impartidas por el área de Electrónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Sin embargo, como experiencia piloto y para que sirviese de puesta a punto de esta acción, su implementación se produjo en el curso Técnicas Físicas I, ya que en él se encuentran alumnos que están teniendo su primer contacto con asignaturas del área, y que por tanto tienen una opinión novedosa, no sesgada, de los recursos y de su utilidad en el proceso de aprendizaje de los conceptos. Muchos de los conceptos básicos que se estudian forman parte del módulo de Técnicas Físicas, de forma que a partir de este curso se irá llevando a cabo un proceso de construcción del conocimiento en temas propios de Electrónica.

### 5.8.3. Recursos

Para la intervención en el aula desarrollada mediante la acción tutorial de tipo 2.0 sea eficaz, es fundamental realizar una fase previa de diagnóstico para identificar cuáles son los conceptos que los alumnos consideran más difíciles de comprender.

Esto se realizó mediante una encuesta específica que se pasó a los estudiantes que acababan de realizar la asignatura para conocer su impresión y su realimentación con el objetivo de construir las acciones de acción tutorial. La confección de este tipo de encuesta diagnóstica es complejo debido a que la precisión y representatividad de los resultados depende en gran medida de su diseño y de los objetivos buscados.

En este sentido, como primer paso se determinó que la metodología para crear la encuesta seguiría una estrategia clásica donde las primeras fases serían el diseño del cuestionario, la aplicación del cuestionario o trabajo de campo, la codificación de las preguntas y la edición del cuestionario. Una vez realizado esto se pasaría la

encuesta para posteriormente procesar y analizar los datos obtenidos, y realizar la evaluación general.

Los conceptos presentados en la encuesta corresponden a una selección previa realizada de acuerdo a consultas hechas en sesiones previas de tutoría académica cara a cara, así como a errores conceptuales detectados en la evaluación.

De acuerdo al objetivo y naturaleza del estudio, entre las posibles redacciones de las preguntas se eligieron tres tipos:

- Preguntas cerradas: normalmente son más difíciles de escribir pero son sencillas de contestar y codificar.
- Preguntas de elección múltiple: permiten introducir tópicos específicos y realizar filtrado a la vez que recogen una gran cantidad de respuestas ya que tienen un elemento abierto.
- Preguntas de evaluación: permiten obtener una respuesta jerarquizable, por ejemplo mediante una escala de Likert.

Por otro lado, de entre los distintos tipos de cuestionarios para recoger la información se eligió un cuestionario auto-administrado dirigido a grupos ya constituidos pero garantizando el anonimato para asegurar que un número suficiente de estudiantes lo completan. Para dotar al cuestionario de una mayor validez y fiabilidad, se llevó a cabo un pre-test con un mayor número de preguntas, que se pasó a colegas para eliminar aquellas que podían ser susceptibles de causar errores. Una vez validado, el cuestionario se hizo durante el tiempo de clase.

La encuesta se dividió en 3 bloques, tal y como se indica a continuación:

- Bloque A: Tuvo un carácter general y en él se hicieron preguntas relativas a la situación de los alumnos en relación con la asignatura que pudiesen influir en su seguimiento.
- Bloque B: Se formularon preguntas más relacionadas con los gustos y preferencias de los alumnos en los relativo a la temática y desarrollo de la asignatura.
- Bloque C: Se planteó como una forma de auto-evaluación

A continuación se incluye la encuesta proporcionada a los estudiantes:

**ASIGNATURA TÉCNICAS FÍSICAS I (GRADO EN FÍSICA).**  
**CUESTIONARIO**



**Bloque A. General**

1.- ¿Cómo has accedido a esta asignatura?

- Primer curso aprobado
- Con más del 75% de primer curso aprobado
- Con más del 50% de primer curso aprobado
- Repito matrícula en esta asignatura

2.- Indica si tu situación laboral —o personal en general— hace que no tengas el tiempo que sería necesario para:

- Asistir a las clases
- Asistir a tutorías
- Trabajar la asignatura en casa

3.- Asisto a clase:

- Todos los días
- Casi siempre
- Con bastante frecuencia
- Alguna vez
- Nunca

4.- El tiempo (fuera de clase) que dedico a esta asignatura a la semana es de:

- Más de 6h
- Entre 4 y 6 h
- Entre 2 y 4h
- Menos de 2h

8.- ¿La carga de la asignatura (estudio y preparación) es adecuada?

- No
- Suficiente
- Sí

9.- ¿El nivel de los contenidos presentados es accesible?

- No siempre
- A veces
- La mayoría de las veces
- Siempre

10.- La resolución y discusión de problemas en clase ayuda a consolidar los conceptos teóricos?

- No siempre
- A veces
- La mayoría de las veces
- Siempre

9.- Dado un diagrama asintótico de Bode, soy capaz de

- Determinar polos y ceros simples
- Determinar cualquier frecuencia crítica
- Obtener la función de transferencia asociada

10.- Términos de fase no mínima. Puedo obtener la fase de ellos:

- Siempre
- Casi sin dificultad
- En la mayoría de las ocasiones
- Con dificultad
- Nunca

5.- ¿Te está gustando la asignatura?

- Poco o nada
- Indiferente
- Mucho

6.- ¿Cómo te está resultando?

- Difícil
- Asumible
- Fácil

7.- ¿La consideras importante en tu formación?

- Poco o nada
- Indiferente
- Algo
- Mucho

8.- La asignatura me aporta nuevos conocimientos

- Poco o nada
- Algo
- Mucho

9.- La formación recibida es útil

- Poco o nada
- Indiferente
- Algo
- Mucho

10.- Los objetivos de la asignatura son claros  Sí  No

**Bloque B. Sobre las clases**

1.- El contenido de las clases se ajusta al programa previsto

- Poco o nada
- Suficiente
- Mucho

2.- Los contenidos están bien estructurados

- Poco o nada
- Bastante
- Mucho

3.- Los temas presentados son redundantes con otras asignaturas

- Poco o nada
- Algo
- Mucho

4.- ¿Consideras que las explicaciones del profesor (junto con las tutorías) son suficientes para entender la asignatura?

- No son suficientes
- Son suficientes
- Son más que suficientes

5.- ¿Consideras que se dedica el tiempo suficiente a cada concepto?

- No, hace falta más tiempo
- Es suficiente en la mayoría de las ocasiones
- Es suficiente

7.- ¿Se adecua el nivel a la dificultad?

- Poco o nada
- Suficiente
- Mucho

**Bloque C. Especifica de contenidos. Temática: Diagramas de Bode**

1.- El estudio del comportamiento dinámico de los sistemas me resulta:

- Muy difícil
- Difícil
- Asumible
- Fácil
- Simple

2.- Identifico un sistema en RSP

- Siempre
- Casi sin dificultad
- En la mayoría de las ocasiones
- Con dificultad
- Nunca

3.- Dada una función de transferencia, soy capaz de determinar los límites asintóticos:

- Siempre
- Casi sin dificultad
- En la mayoría de las ocasiones
- Con dificultad
- Nunca

4.- Dada una función de transferencia,  $H(s)$ , de segundo orden soy capaz de:

- Determinar las frecuencias críticas
- Representar el diagrama asintótico en magnitud y en fase
- Representar el diagrama asintótico en magnitud
- Representar el diagrama asintótico en fase
- Nada de lo anterior

5.- Dada una función de transferencia,  $H(s)$ , de segundo orden soy capaz localizar en el plano  $s$  los polos de dicha función:

- Siempre
- Casi sin dificultad
- En la mayoría de las ocasiones
- Con dificultad
- Nunca

6.- Polos y ceros en el origen. Puedo representar su comportamiento en magnitud y en fase:

- Siempre
- Solo del polo
- Solo del cero
- Solo si son simples
- Nunca

7.- Polos y ceros simples. Puedo representar su comportamiento en magnitud y en fase:

- Siempre
- Solo del polo
- Solo del cero
- Nunca

8.- En una función de transferencia con un cero en el origen y dos polos simples reales y negativos alejados entre sí. Puedo obtener el valor del módulo en el rango de frecuencias entre los dos polos:

- Siempre
- Casi sin dificultad
- En la mayoría de las ocasiones
- Con dificultad
- Nunca

Tu opinión nos importa. Si quieres completar la información con comentarios o sugerencias puedes hacerlo aquí:

---

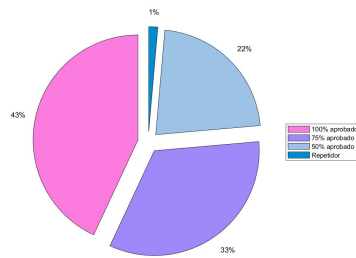
---

---

---

---

Muchas gracias por tu colaboración.



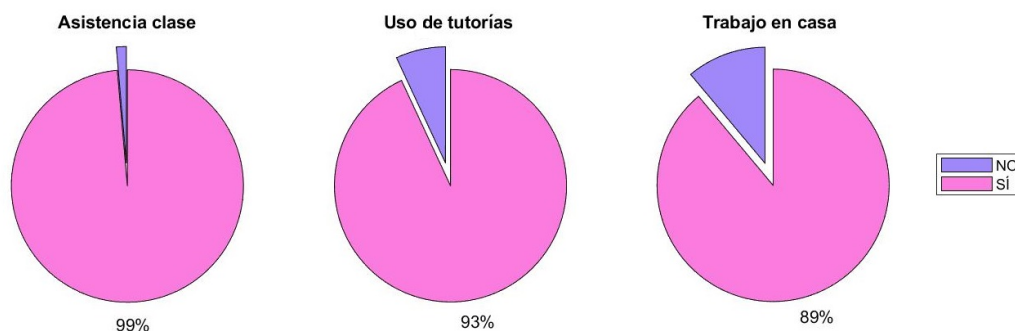
**Figura 5.28.:** Porcentaje de asignaturas aprobadas con las que los alumnos accedieron a la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19.

#### 5.8.4. Resultados

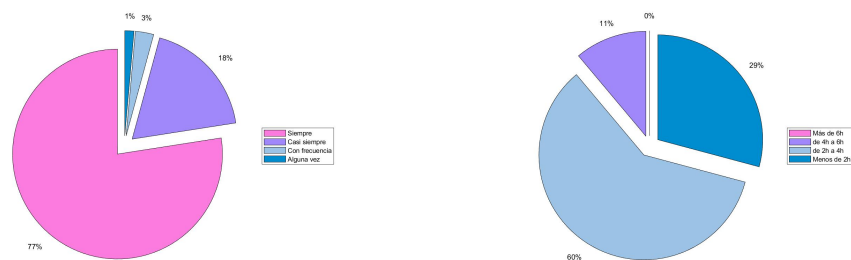
En el primero de los bloques (Bloque A), dedicado a preguntas de carácter general y de situación de los alumnos en relación con el seguimiento de la asignatura, las 4 primeras preguntas buscaban conocer el contexto en el que los estudiantes habían accedido y estaban cursando la asignatura.

Los resultados mostrados en la Figura 5.30 indican que la gran mayoría de estudiantes han accedido a la asignatura con un elevado número de asignaturas aprobadas. En concreto, el 75 % de ellos cuenta con más del 75 % aprobado, y de ellos más de la mitad (el 56.7 %) tenía todo aprobado en el momento de hacer la asignatura. Por otro lado, la inmensa mayoría de estudiantes tenían disponibilidad para asistir a clase (el 99%), usar las tutorías (el 93%) así como para hacer las actividades previstas de trabajo en casa (el 89%).

En cuanto a la asistencia real a clase, el 77 % de los alumnos declararon que habían asistido siempre y el 18 % que lo habían hecho con regularidad. Finalmente, el tiempo de dedicación a la asignatura para la mayor parte de estudiantes (el 60 %)



**Figura 5.29.:** Disponibilidad de los alumnos de la asignatura Técnicas Físicas I para asistir a las distintas actividades programadas en el curso 2018-19.



**Figura 5.30.:** Asistencia (izquierda) y tiempo de dedicación (derecha) de los alumnos a la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19.

estaba entre las 2 y las 4 horas semanales; el 29 % declaró haber dedicado menos de 2 horas y ningún alumno declaró haber dedicado más de 6 horas semanales.

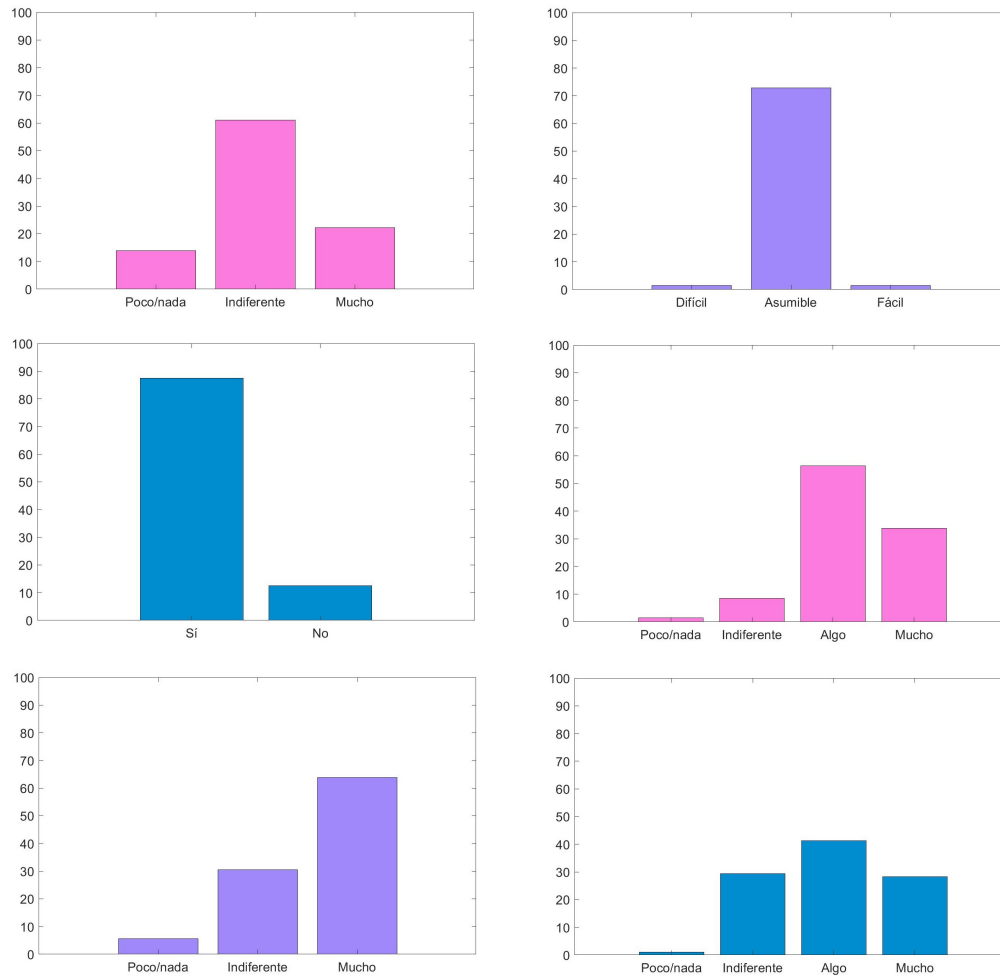
Dentro del Bloque A, las siguientes preguntas estuvieron dedicadas a conocer la percepción personal que los alumnos habían tenido de la asignatura desde un punto de vista general de su desarrollo y funcionamiento.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.31. Lo que se observa es que la mayoría de estudiantes (un 63 %) tiene una percepción neutra de la asignatura (gráfica superior izquierda) y que hay un porcentaje significativo de los alumnos (un 23 %) a los que les ha resultado atractiva.

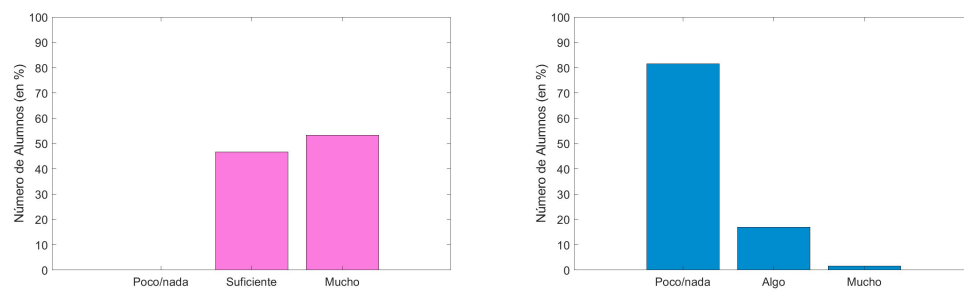
En cuanto a la percepción de la dificultad de la asignatura, la gran mayoría de los alumnos encuestados (un 96 %) la han encontrado de nivel asumible, ni excesivamente difícil ni fácil (gráfica superior derecha) . Finalmente, el 87.5 % de los alumnos indicaron que consideraban que los objetivos de la asignatura habían estado claramente establecidos (gráfica central izquierda).

El Bloque A del cuestionario se completó con una serie de preguntas enfocadas a conocer la percepción de los alumnos acerca de la utilidad de los contenidos tratados en el curso, tanto desde el punto de vista de su formación como graduados en Física, como de sus perspectivas laborales.

Se puede observar cómo los alumnos consideran en su mayor parte (un 95 %) que la formación recibida es de utilidad para su formación, y que un 35 % indicó que era de mucha utilidad (gráfica central derecha) . Por otro lado, un 64 % indicó que la asignatura les había proporcionado conocimientos novedosos (gráfica inferior izquierda), y un 70 % que los contenidos tratados les serían de utilidad en su vida laboral (gráfica inferior derecha).

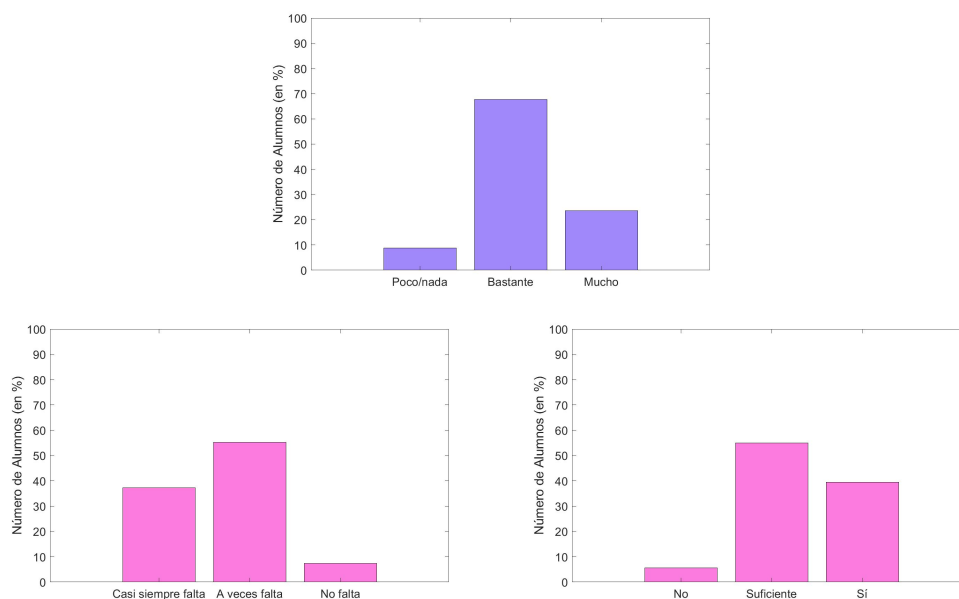


**Figura 5.31.:** En relación con la asignatura Técnicas Físicas I en el curso 2018-19: percepción de la asignatura (superior izquierda); percepción de su dificultad (superior derecha); claridad en los objetivos (centro izquierda); utilidad de la formación recibida (centro derecha); novedad de los contenidos (inferior izquierda); utilidad en la vida laboral (inferior derecha)



**Figura 5.32.:** Percepción de los alumnos sobre el ajuste entre el programa previsto y su desarrollo (izquierda) y el grado de redundancia con otras asignaturas (derecha) de la asignatura Técnicas Físicas I.





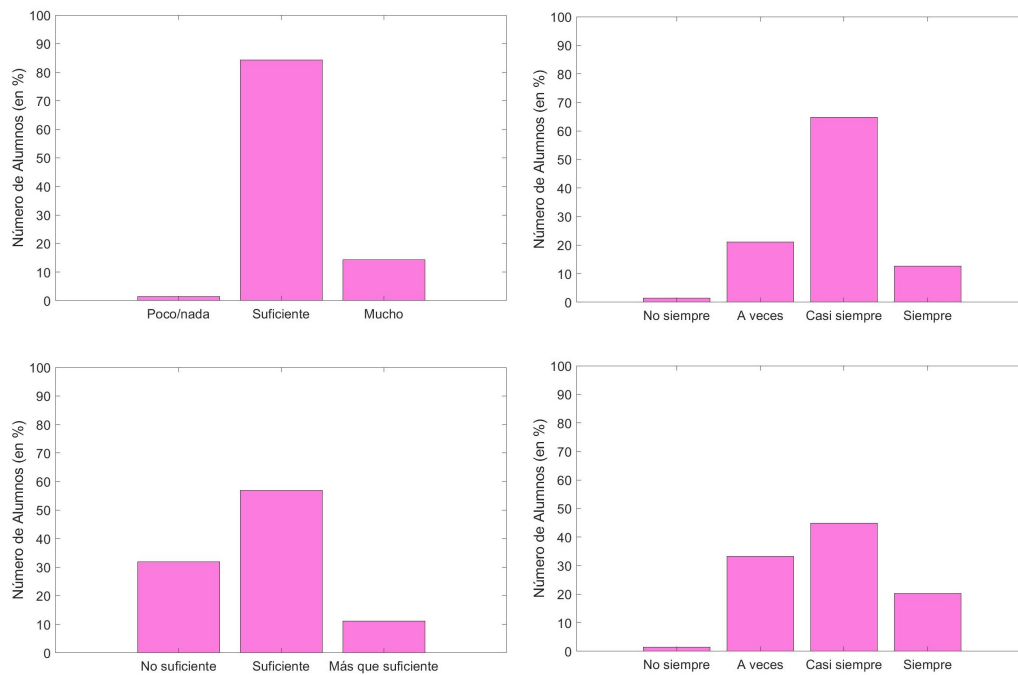
**Figura 5.33.:** Percepción de los alumnos en lo referente a la estructuración de los contenidos (superior), la distribución temporal (inferior izquierda) y la carga de trabajo (inferior derecha) de la asignatura Técnicas Físicas I.

El segundo bloque del cuestionario (Bloque B) incluyó preguntas que buscaban averiguar la percepción general de los alumnos sobre el desarrollo del curso, tanto desde el punto de vista de la planificación y realización de la asignatura, como de la labor del profesor.

La Figura 5.32 muestra que todos los alumnos consideraron que la asignatura se desarrolló con un ajuste conveniente al programa previsto (gráfica izquierda), y que los contenidos tratados tienen un bajo grado de redundancia con los vistos en otras asignaturas (gráfica derecha).

En cuanto a la estructuración de los contenidos, la Figura 5.33 muestra las respuestas a las preguntas B2, B5 y B8 del cuestionario. Se puede observar que los alumnos en general consideran que los contenidos estaban convenientemente estructurados, aunque con un 9% que tiene una opinión negativa en este aspecto (gráfica superior)

En lo referente a la distribución temporal de la asignatura, la mayoría de los alumnos (un 92.5%) consideraron que no se dedicaba suficiente tiempo a los conceptos teóricos (gráfica inferior izquierda). Aunque de estos un 60% tenía una opinión más neutra en este aspecto, indicando que a veces faltaba tiempo, este resultado es indicativo de la densidad temática de la asignatura. En paralelo a esto, y a pesar de este resultado, un 94% de los alumnos indicaron que la carga de



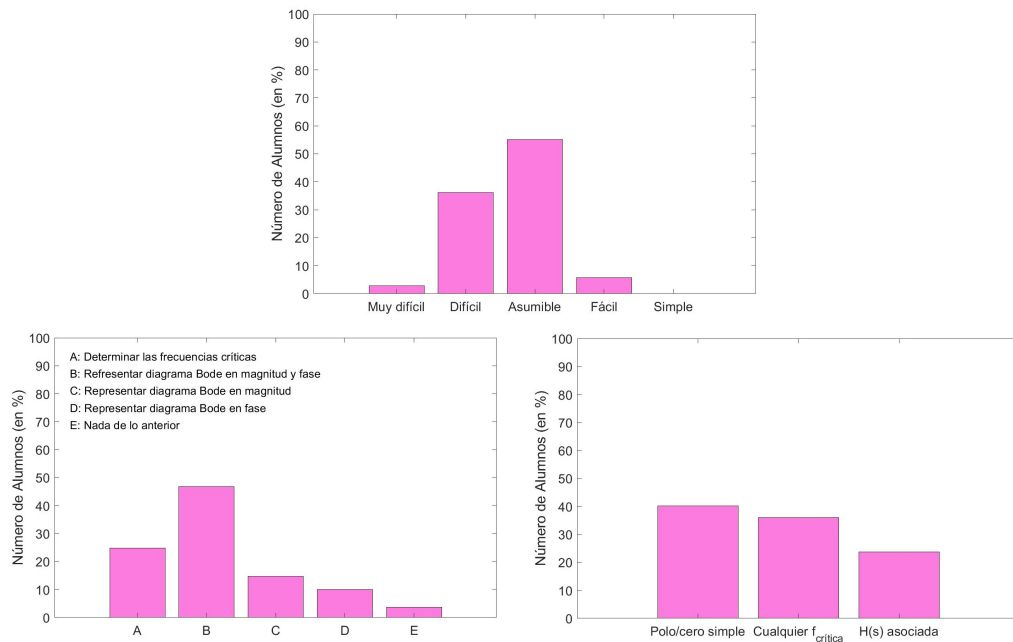
**Figura 5.34.:** Percepción acerca del nivel de los contenidos (superior izquierda); de si el nivel se ajustaba al contenido (superior derecha); de si las explicaciones de los profesores eran suficientes (inferior izquierda); y de si las sesiones de resolución de problemas eran de ayuda (inferior derecha).

trabajo de la asignatura, en lo referente a su estudio y preparación, era adecuada (gráfica inferior derecha).

La cuestiones B7 y B9 de la encuesta hicieron referencia a la percepción de los alumnos sobre el nivel de los contenidos tratados en el curso preguntando, respectivamente, si el nivel de los contenidos se ajustaba a la dificultad del curso y si resultaba accesible.

Por su parte, las preguntas B4 y la B10 buscaron conocer la opinión de los alumnos sobre la labor docente de los profesores en la asignatura. En concreto, si buscó averiguar si las explicaciones de los profesores en clase eran suficientes para seguir la asignatura, y si las sesiones de resolución de problemas en clase ayudaban a afianzar los conceptos teóricos.

Los resultados, mostrados en la Figura 5.34, muestran que la gran mayoría de alumnos encuestados (un 99%) consideran que el nivel de los contenidos se ajusta a la dificultad del curso (superior izquierda), y que un 77% considera que el nivel del curso es asequible para sus conocimientos en casi la totalidad de los temas tratados (superior derecha). Por otro lado, se observó que mayoría de alumnos (un

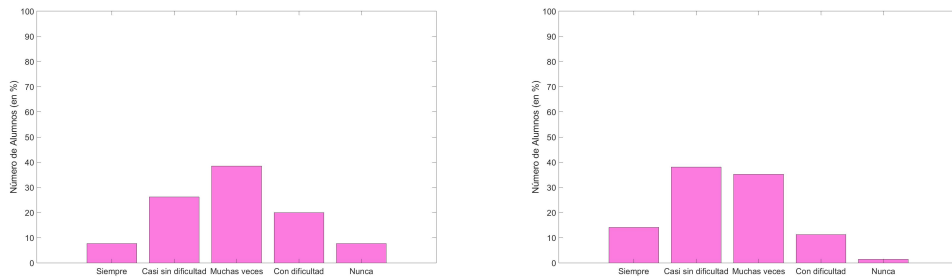


**Figura 5.35.:** Percepción acerca de la dificultad percibida por los alumnos acerca de la dificultad de la asignatura Técnicas Físicas I (gráfica superior). Percepción de los alumnos acerca de su capacidad de interpretar una función de transferencia (gráfica inferior izquierda) y un diagrama asintótico de Bode (gráfica inferior derecha).

68 %) consideran que con las explicaciones del profesor es suficiente para seguir el curso con normalidad, aunque el 32 % restante contestó negativamente (inferior izquierda), y que un 98.5 % consideró que las sesiones de resolución de problemas eran de utilidad, estando el máximo de acuerdo (un 45 %) en que casi siempre estas sesiones ayudaban a afianzar los conceptos teóricos (inferior derecha).

Finalmente, el Bloque C de la encuesta tubo un carácter de autoevaluación y pretendió que los alumnos respondieran acerca de los resultados de su propio proceso de aprendizaje en las temáticas tratadas, y en particular en los diagramas asintóticos de Bode.

Antes de realizar cuestiones específicas que preguntasen a los alumnos acerca de sus conocimientos, la primera pregunta plantada (C1) buscó conocer si de forma genérica este aspecto les había resultado fácil de comprender o no. El resultado se muestra en la imagen superior de la Figura 5.35, y muestra que la mayoría de los alumnos (un 55 %) consideran que dicho bloque temático es asumible en su dificultad, pero también que hay un porcentaje significativo (un 36 %) que lo considera difícil.



**Figura 5.36.:** Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de identificar un sistema en régimen sinusoidal permanente (izquierda) y de determinar los límites asintóticos de una función de transferencia (derecha).

También se plantearon dos preguntas de elección múltiple (la C4 y la C9) en las que los alumnos debían responder, para un problema concreto de los tratados en clase, hasta dónde creían que eran capaces de responder con confianza. En concreto, la pregunta C4 preguntó hasta dónde eran capaces de interpretar una función de transferencia  $H(s)$  de segundo orden, mientras que la pregunta C9 buscó conocer hasta dónde se veían capaces de llegar los alumnos en el caso contrario, es decir, qué información creían que podían obtener de la representación gráfica de un diagrama asintótico de Bode. En ambos casos, representados respectivamente en las gráficas inferior izquierda e inferior derecha de la Figura 5.35 se puede observar cómo el porcentaje de alumnos va decreciendo a medida que se pide avanzar más en el estudio de los sistemas, y que la mayoría de ellos creen que sólo podrían llegar a las fases más simples.

El resto de preguntas de la encuesta (C2, C3, C5, C6, C7, C8 y C10) se plantearon en formato directo para que los alumnos indicasen si se veían capaces de resolver los problemas o situaciones planteados en el enunciado, y hasta qué punto.

La Figura 5.36 muestra los resultados de las preguntas C2 (izquierda) y C3 (derecha), en las que se planteó a los alumnos si eran capaces de identificar un sistema en régimen sinusoidal permanente (RSP) y si dada una función de transferencia  $H(s)$  eran capaces de determinar sus límites asintóticos. En ambos casos las distribuciones están centradas a mitad de la escala, lo que indica que la mayoría de los estudiantes consideran que en la mayoría de las ocasiones (un 65 % y un 73 %, respectivamente) serían capaces de hacerlo, aunque no siempre.

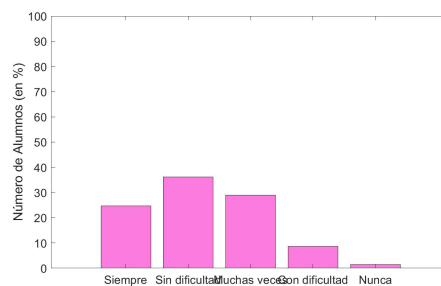
La cuestión C5 planteó a los alumnos si se consideraban capaces, dada una función de transferencia  $H(s)$  de segundo orden, de localizar en el plano  $s$  sus polos. Los resultados se muestran en la Figura 5.37 e indican que un 90 % de los alumnos

consideraban que serían capaces de hacerlo en la mayoría de los casos, y que un 25 % consideraba que serían capaces de hacerlo siempre.

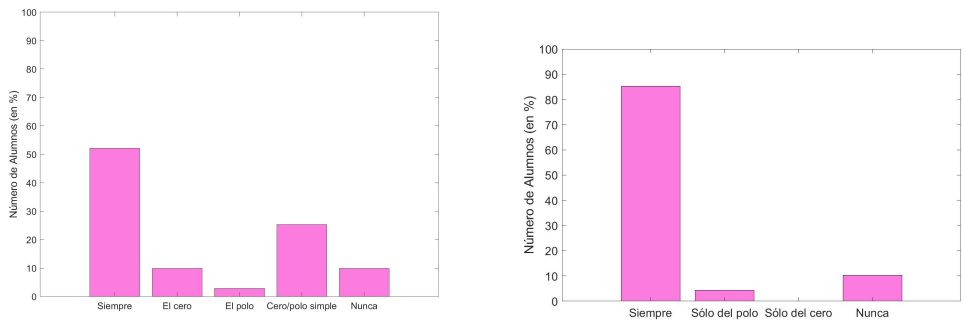
Las cuestiones C6, C7 y C8 trataron sobre el concepto de polos y ceros de una función de transferencia  $H(s)$ , que son las raíces de su numerador y denominador, respectivamente, y del efecto que tienen en el comportamiento del sistema dinámico descrito por la función de transferencia.

Las dos primeras, C6 y C7, preguntaron si los alumnos eran capaces de representar el comportamiento en magnitud y fase de  $H(s)$  en su diagrama asintótico de Bode en el caso de que los polos y ceros estuviesen en el origen (C6) o fuesen simples (C7). El resultado se muestran en la Figura 5.38, e indican que el caso de polos y ceros simples es un concepto que los estudiantes tienen bien asimilado, estén o no en el origen (un 77% contestó en ese sentido la pregunta C6 y un 85 % la C7). Sin embargo, del análisis de la pregunta C6 se desprende que si los polos y ceros no son simples, un porcentaje significativo de los alumnos (un 23 %) tienen dificultad para analizar el comportamiento del sistema dinámico descrito.

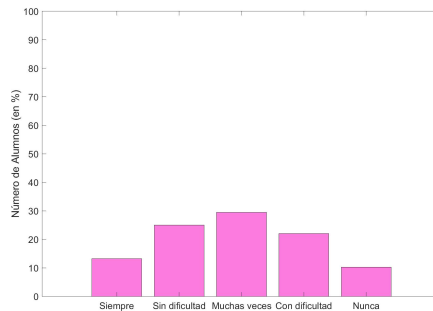
La pregunta C8 quiso conocer si dada una función de transferencia  $H(s)$  con un cero en el origen y dos polos simples reales y negativos alejados entre sí los alumnos podían obtener el valor del módulo de  $H(s)$  en el rango de frecuencias entre los dos polos (rango de frecuencias medias). El resultado se muestra en la Figura 5.39 y muestra una distribución bastante plana centrada en la mitad. Es decir, un grupo mayoritario de alumnos (un 29 %) indican una percepción neutra su capacidad de resolver la cuestión planteada, y el resto se reparten de forma homogénea entre los que creen que lo podrían hacer con facilidad y los que creen que encontrarían dificultad en hacerlo. Una posible explicación a estas respuestas en relación con las demás es que planteó una situación mucho más concreta que obligó a los alumnos a un cuestionamiento más profundo de sus conocimientos.



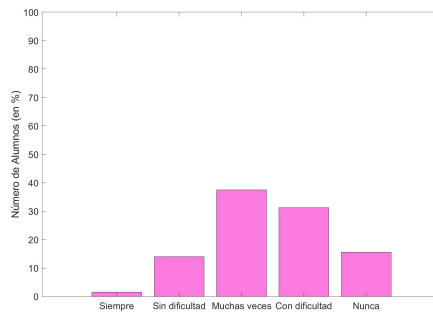
**Figura 5.37.:** Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de localizar en el plano  $s$  los polos de una función de transferencia.



**Figura 5.38.:** Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de representar el comportamiento en magnitud y fase de  $H(s)$  en su diagrama asintótico de Bode en el caso de que los polos y ceros estuviesen en el origen (izquierda) o fuesen simples (derecha).



**Figura 5.39.:** Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de obtener, en el rango de frecuencias medias, el valor del módulo de una función de transferencia con un cero en el origen y dos polos simples reales y negativos alejados entre sí.



**Figura 5.40.:** Percepción de los alumnos acerca de si son capaces de obtener la fase a partir de términos de fase no mínima.

Finalmente, la cuestión C10 planteó a los alumnos si se consideraban capaces de obtener la fase a partir de los términos de fase no mínima. El resultado se muestra en la Figura 5.40 y muestra de nuevo que la mayoría de los alumnos tienen una opinión neutra (un 37.5 %) y también que un 47 % consideran que tendrían dificultades importantes para realizarlo.

El análisis de la encuesta planteada a los estudiantes permitió, pues, tener una idea bastante realista de cuál es la opinión de los alumnos acerca del desarrollo del curso y también el conocimiento de cuáles son las cuestiones en las que ellos sienten que tienen más dificultades en lo referente a los tópicos estudiados durante el curso. Con estos resultados se partió para realizar el diseño de las herramientas y actividades que ayudasen a plantear la acción tutorial de tipo 2.0, complementaria a la tradicional.

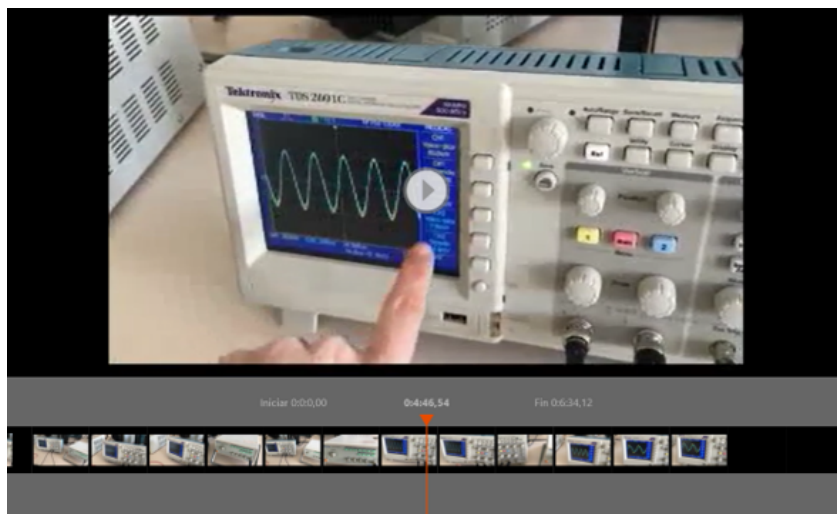
Para ello, además de plantear una adaptación de algunos de los recursos descritos en las secciones anteriores, en el contexto de una acción tutorial basada en TAC como el que se plantea en esta acción de intervención, se incidió el uso como recurso de enseñanza del vídeo-tutorial de corta duración, asociado en este caso a los conceptos identificados mayoritariamente como difíciles de entender. Dichos vídeo-tutoriales se alojarán en un canal de YouTube

La elección del formato y del espacio de aprendizaje viene dada por el objetivo que se persigue con los recursos diseñados (que constituyan un material de refuerzo útil y atractivo), y también por las posibilidades docentes que ofrece una de las redes sociales de más impacto, como la facilidad de edición de vídeos, de insertar anotaciones y enlaces a otras páginas, de crear listas de reproducción para organizar los contenidos y la existencia de YouTube Analytics. Además, este formato permite su adaptación a otras asignaturas, ajustando los tiempos y las temáticas tratadas.

Los recursos se diseñaron en formato *podcast* y *vodcast* y se editaron cuatro vídeos que abarcaban los siguientes tópicos:

- Frecuencia de corte de un sistema.
- Construcción de diagramas asintóticos de Bode.
- Construcción de funciones de transferencia con polos y ceros simples y en el origen.
- Resumen de las principales propiedades de números complejos.

En la Fig 5.41 se presenta una secuencia del primero de los tópicos elegidos.



**Figura 5.41.:** Captura de pantalla del vídeo-tutorial realizado para explicar el concepto de frecuencia de corte de un sistema dinámico.



## Intervención en la Université Catholique de Louvain, Bélgica

Como parte de los desarrollos realizados en la presente Tesis Doctoral, se ha planteado, de manera prospectiva, la realización de una acción de intervención en la Université Catholique de Louvain (UCL), en Lovaina-la Nueva (Bélgica). La posibilidad de realizar esta acción ha sucedido porque una de las directoras de la Tesis Doctoral, la Dra. Gimeno, estuvo realizando una estancia en dicha universidad, en la que además de sus tareas de investigación pudo disfrutar de responsabilidades docentes.

La idea de la acción que se va a describir a continuación es la de estudiar cómo se trasladan las estrategias diseñadas para la confección de modelos mentales de conocimiento en el marco del aprendizaje de los semiconductores al marco de una titulación impartida en otro país del EEES. En concreto, la titulación en la que se ha desarrollado la acción de intervención es el Máster en Ingeniería Eléctrica impartido en la UCL.

El presente capítulo presenta una estructura paralela a la desarrollada en los Capítulos anteriores de la presente Tesis Doctoral: primero se realizará una contextualización de la titulación en la que se va a realizar la intervención, y seguidamente se va a proceder a su descripción y a la presentación de los resultados obtenidos.

### 6.1. Contextualización

El Máster en Ingeniería Eléctrica (ELEC<sup>1</sup>) de la Université Catholique de Louvain tiene como reto esencial la capacitación de ingenieros eléctricos en una gran variedad de campos que van desde el conocimiento sobre *hardware* y *software*, hasta tecnología y matemáticas, experimentos teóricos en electrónica actual y sus diferentes disciplinas, en una amplia variedad de aplicaciones que van desde la micro-nano-tecnología hasta la comunicación espacial.

<sup>1</sup><https://uclouvain.be/en-prog-2020-elec2m.pdf>

El Máster en Ingeniería Eléctrica ofrece diversas perspectivas profesionales en una variedad de sectores industriales que incluyen: diseño y realización de un proyecto, instalación, programación en tiempo real, seguridad, marketing, análisis de señales de sistemas electrónicos, redes de comunicación, información o receptores, equipamientos eléctricos usados en producción industrial, transporte biomédico, aeroespacial, energía y desarrollo sostenible. Además, los estudiantes pueden elegir entre un itinerario más generalista y otro especializado en un campo tecnológico específico. En su totalidad, el programa ofrece una introducción a la industrialización y la investigación, así como a los trabajos en producción y diseño o programas de doctorado en I+D.

El programa de máster se estructura en 120 créditos divididos en 2 años, de los cuales 30 créditos tienen un carácter fundamental, 30 créditos se centran en una especialización final y, finalmente, los estudiantes pueden elegir entre uno o varios cursos de carácter optativo. Los cursos optativos permiten a los alumnos centrarse en lo que se denomina *major* o especializaciones.

Uno de los objetivos es integrar a los estudiantes en equipos de investigación. Por lo tanto, las actividades de enseñanza se complementan con actividades de investigación y sirven como punto de partida para la contratación de investigadores. Por su parte, uno de los puntos más destacables de este máster es que los estudiantes tienen acceso a infraestructuras técnicas de alta calidad. En definitiva, estos estudios permiten que el alumno sea capaz de organizar y llevar a cabo un proceso de ingeniería aplicada centrada en el desarrollo de un producto (y/o servicio) correspondiente a una necesidad o un problema específico del campo de la ingeniería electrónica.

En el marco de la presente Tesis Doctoral nos hemos centrado en la aplicación de metodologías innovadoras dentro del curso *Design and Architecture of Analog Electronic Systems* (ELEC2532), que se imparte como asignatura optativa en Máster en Ingeniería Electromecánica y en el Máster en Ingeniería Eléctrica de la UCL.

## 6.2. Intervención en el aula

En el Capítulo 4 se describieron, contextualizaron e interpretaron una serie de estrategias didácticas para implementar procesos de enseñanza-aprendizaje basados en la construcción de modelos de conocimiento, particularizados a la enseñanza de la Electrónica en Educación Superior. Seguidamente, en el Capítulo 5 se realizó una revisión de una serie de aplicaciones de dichas estrategias, llevadas

a cabo por el equipo del doctorando en el marco de las titulaciones de Grado en Física y Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza. En concreto, se detalló el contexto de aplicación y los elementos de realización, y se indicaron los resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista de la evolución de indicadores medibles del modelo mental construido por los estudiantes como del de su opinión y grado de satisfacción.

En este capítulo se va a seguir una estructura paralela, contextualizada a la asignatura *Design and Architecture of Analog Electronic Systems* (ELEC2532) del Máster en Ingeniería Eléctrica de la UCL y a la implementación de una metodología tipo *flipped* en combinación con otras metodologías activas y clases magistrales para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Electrónica en estudios de Máster.

### 6.2.1. Descripción

Como se comentó en el Capítulo 4, la *flipped classroom* o aula invertida es una metodología en la que el trabajo necesario para determinados procesos de aprendizaje se realiza fuera del aula, reservando el tiempo de clase y la experiencia del docente para realizar otros procesos de aprendizaje y para poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Desde el punto de vista del análisis introducido en Capítulo 4 (Figura 4.7), la metodología de tipo *flipped* está centrada en el alumno y tiene un perfil tecnológico variable, y fomenta un enfoque activo y cooperativo. En lo referente a su diseño, habitualmente éste se hace en etapas, tal y como muestra la Figura 4.8.

### 6.2.2. Contexto

Como se ha comentado al comienzo de este Capítulo, la acción de intervención en el aula se ha desarrollado en el marco del curso ELEC2532, *Design and Architecture of Analog Electronic Systems*. El curso ELEC2532 se imparte como asignatura optativa en Máster en Ingeniería Electromecánica y en el Máster en Ingeniería Eléctrica de la UCL, en el segundo semestre de las ambas titulaciones, donde los alumnos ya han adquirido competencias en electrónica digital y diseño de sistemas.

Para la realización del curso ELEC2532, se recomienda que los estudiantes hayan cursado el curso LELEC2541, titulado *Advanced Transistors*, orientado a electrónica digital. Además, también se recomienda que se realice en paralelo al curso

LELEC2103, titulado *Project in Electrical Engineering: Optimization of Wireless Embedded Sensing Systems*, que consiste en la realización de un proyecto de implementación de un sistema electrónico. Posteriormente al curso ELEC2532, los estudiantes están orientados a cursar asignaturas en las que se introduce el concepto y metodologías de síntesis de circuitos integrados.

Así, el curso ELEC2532 busca introducir los circuitos y sistemas analógicos más importantes dentro del contexto de los sistemas embebidos mixtos analógico-digitales. En concreto, en este curso se definen y comparan las distintas familias de componentes, sus implementaciones más habituales y las figuras de mérito que sirven para caracterizarlas.

Tiene como objetivo introducir los principales sistemas y circuitos analógicos dentro de la funcionalidad global de un sistema integrado, y explicar el funcionamiento de las arquitecturas típicas de estos sistemas. Se definen y comparan las diferentes familias de componentes, sus implementaciones y figuras de mérito, y se presentan herramientas de simulación y diseño electrónico automatizado, sirviendo también como base para cursos posteriores de síntesis de circuitos integrados.

Los alumnos tienen una sólida formación en los métodos matemáticos más utilizados en electrónica, y una experiencia de laboratorio relevante. Esto les dota de un importante grado de autonomía en su proceso de aprendizaje y de un mayor grado de éxito al enfrentar actividades que implican una supervisión menos directa por parte de los instructores, dejando más espacio para la implementación de actividades de aprendizaje activo.

### 6.2.3. Recursos diseñados

En esta experiencia se usó la *flipped classroom* en combinación con otras metodologías activas y clases magistrales, en dos líneas de acción:

- Actividades previas y cara a cara basadas en el uso de TAC.
- Actividades cara a cara con estrategias de aprendizaje activo.

Por su parte, el proceso de enseñanza-aprendizaje se distribuyó en cuatro partes principales:

- Lección magistral tradicional.
- Clases en formato invertido *flipped classroom*.

- Concurso de estudiantes.
- *Webinars*.

Las clases tradicionales trataron sobre conceptos generales de electrónica analógica. Fueron la primera parte impartida y en ellas los profesores dieron las explicaciones teóricas, proponiendo posteriormente a los estudiantes un tema de estudio que debían preparar para resolver una serie de ejercicios guiados. Los temas que se incluyeron fueron, entre otros, el ruido eléctrico, filtros analógicos, referencias de tensión, convertidores ADC y DAC u osciladores.

Las clases en formato invertido *flipped classroom* trataron sobre aplicaciones típicas de los sistemas analógicos y sus arquitecturas principales. Los estudiantes generaban su propio conocimiento con la idea de que adquiriesen una mayor autonomía para aprender los temas más complejos y así fuesen capaces de replicar un flujo de trabajo realista en la industria, donde se espera que los ingenieros sean capaces de investigar y comprender temas que no han visto durante su formación.

Se programaron dos tipos de actividades *flipped*: unas previas a la clase presencial y otras para realizar durante la propia sesión de clase. Las actividades previas consistieron en dividir a los alumnos en parejas y pedirles que trabajasen uno de los temas propuestos, dándoles acceso a repositorios digitales de artículos científico-técnicos y de libros como el IEEEExplore o Libellule, que es el repositorio digital de la UCL, así como con su asistencia a una sesión de seminarios impartidos por expertos de la industria para proporcionar una visión realista de las actividades que se realizan y también de las carreras profesionales.

En las actividades presenciales, cada grupo debía hacer una pequeña presentación del tema tratado por ellos y explicarlo a sus compañeros. Es decir, por un momento se convertían en los profesores del curso y eran ellos los que decidían cómo se iba a trabajar la materia en cuestión, aunque sí se les exigía que en su presentación hubiese una explicación teórica, alguna actividad o ejercicio de refuerzo y ejemplos prácticos y de simulación.

La siguiente parte es una actividad muy dinámica en la que los estudiantes compiten contra sus pares, en grupos de 6, para a la vez profundizar en su comprensión de los temas tratados en las clases *flipped*. La Figura 6.1 muestra algunas imágenes del desarrollo de esta parte de competición por grupos.

Esta parte constó de dos sesiones:

- Una primera en la que los estudiantes debían resolver un problema real usando herramientas de simulación (LTSPICE). Tuvo una duración de 2 horas,



**Figura 6.1.:** Imágenes de las actividad de competición por grupos realizada tras las actividades en formato *flipped classroom*.

de las que 1:45 horas se dedican a la resolución grupal del problema y el tiempo restante a preparar una presentación de 5 minutos con el detalle de la solución y los resultados obtenidos que sirvió como entregable.

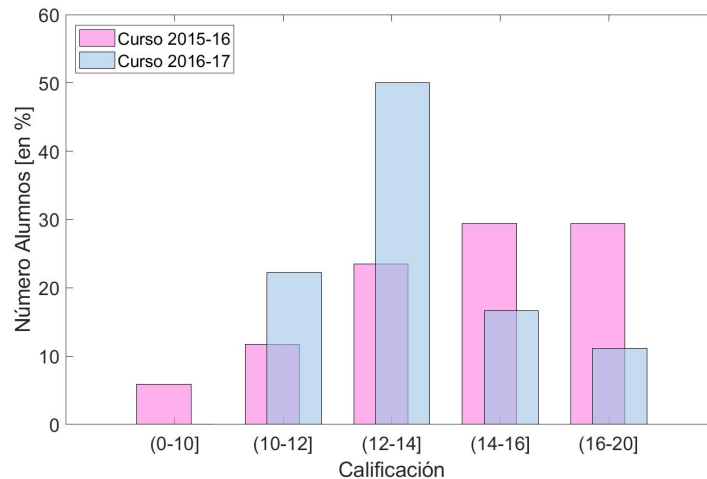
- Una segunda en la que se realizó un concurso de preguntas y respuestas entre los estudiantes usando el software *MirrorOp*. Tuvo una duración de 2:00 horas, de las que 1:30 horas se dedican a la resolución de las preguntas y los restantes 30 minutos a explicar las soluciones y debatir con los otros grupos.

#### 6.2.4. Resultados

La evaluación de la actividad se llevó a cabo analizando dos puntos principales:

- La calidad de los materiales creados por los estudiantes y su participación tanto en la clase *flipped* como en el concurso.
- la motivación personal y satisfacción de los estudiantes.

Se espera que los alumnos adquieran una serie de competencias a lo largo del curso, ayudados por la realización de la clase *flipped*. En concreto, la evaluación



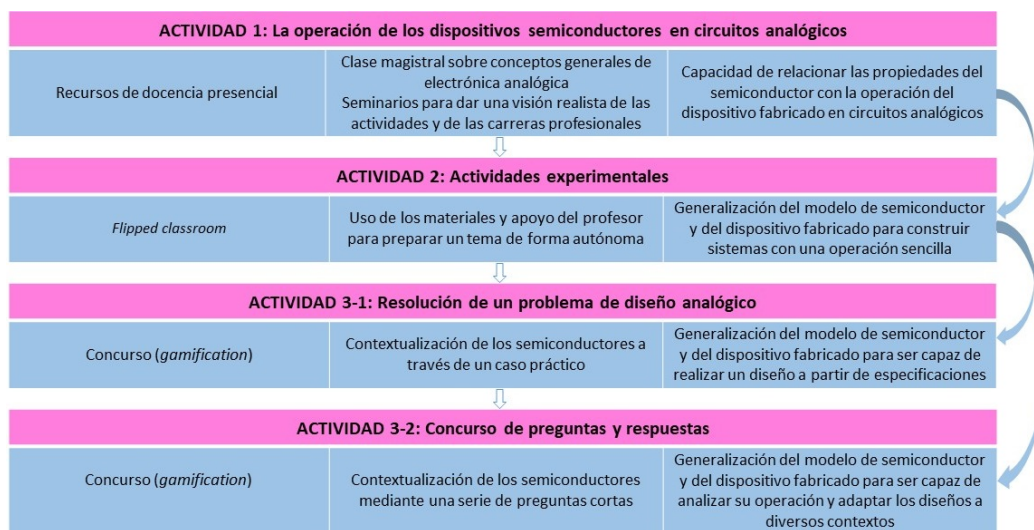
**Figura 6.2.:** Notas obtenidas en el curso el año de implantación de la metodología *flipped* y en el curso anterior.

se realizó mediante una rúbrica en la que se tuvo en consideración cuatro bloques principales:

- El contenido de la clase.
- El rigor y corrección técnica de la clase.
- La estructura general de la clase, su ejecución práctica y el uso de recursos didácticos.
- Aspectos genéricos como la autonomía demostrada, gestión del tipo y actitud general.

Para tener una visión global del impacto de la actividad se presenta en la Figura 6.2 una comparativa de las notas obtenidas por los alumnos en el curso durante el año académico de realización de la actividad y durante el anterior, en el que no estaba implementada. Se puede observar que, a pesar de que el número de aprobados no se modifica, sí que se produce una mejora global en las calificaciones, que tienden a aglutinarse en los segmentos altos de calificación, en el rango (14-20], mientras que previamente lo hacían en el rango medio (12-14] mayoritariamente.

Para concluir este capítulo, la Figura 6.3 e presenta un resumen de los resultados obtenidos de las actividades de intervención en el aula llevadas a cabo en la Université Catholique de Louvain.



**Figura 6.3.:** Esquema de la secuencia de actividades diseñada para evaluar el impacto de las actividades realizadas en la Université Catholique de Louvain en la construcción de modelos mentales por parte de los alumnos con los resultados obtenidos.



## Conclusiones

La presente Tesis Doctoral ha buscado indagar si mediante el desarrollo de metodologías de enseñanza basadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) es posible lograr una mejora del proceso de aprendizaje en áreas científicas, y en particular en Electrónica, en Educación Superior.

Se han realizado acciones en el Grado en Física y en el Máster en Física y Tecnologías Físicas de la Universidad de Zaragoza.

De forma concreta, se han presentado el diseño de una serie de recursos y los resultados obtenidos de su implementación en el aula, tanto en estudios de grado como de máster, con el objetivo de trabajar la construcción dirigida de modelos en la enseñanza de la Física universitaria, concretamente en el área de la Electrónica.

Para ello, el primer paso ha consistido en realizar una tarea de identificación de cómo la didáctica de las ciencias puede ayudar a la construcción de modelo de semiconductor en los alumnos. Tradicionalmente, este contenido se ha trabajado a través de clases magistrales sin prestar especial atención al modelo que los alumnos adquirirían tras las clases relativas al tópico en cuestión. Sin embargo, en esta Tesis Doctoral se ha planteado la necesidad de investigar sobre si el diseño e implantación de estrategias didácticas concretas ayudan a la construcción de un modelo sólido de semiconductor.

Inicialmente se evaluó qué tipos de estrategias podrían ser adecuadas en el contexto concreto en que se desarrolla la materia que engloba el contenido a trabajar, que es la Educación Superior, tanto a nivel de grado como de máster. Una vez estudiadas las posibles estrategias, se realizó una selección de aquellas que posteriormente iban a ser adaptadas e implementadas, constituyendo una secuencia de estrategias encaminada a su aplicación en el aula.

Cada una de estas estrategias se diseñó atendiendo al contexto concreto de su aplicación, lo que requirió realizar una definición en detalle de aspectos relevantes como:

- Las características del grupo de estudiantes en el que se iban a aplicar.
- Los conceptos que se iban a trabajar de forma concreta concretamente.

- El conocimiento previo que los alumnos tenían acerca de dichos conceptos.
- La especificación de cuáles eran los resultados de aprendizaje esperados.

De forma paralela, para cada una de estas estrategias se diseñó una serie de pruebas de evaluación que permitiesen evaluar si su aplicación específica había permitido conseguir el objetivo para el que había sido diseñada.

En base a la estructura general descrita en los párrafos anteriores, se va a proceder a enumerar las conclusiones alcanzadas a través de los resultados obtenidos en la intervención en el aula.

1. El uso de herramientas y recursos de enseñanza basados en TIC que fomenten la descripción visual de los conceptos explicados (*applets*, animaciones, simulaciones, infografías...) complementa la descripción puramente teórica y la dota de una mayor profundidad y permite una mejor asimilación de los conceptos tal como adelantaba Sanmartí (2002). Por otra parte, Amadeu y Leal (2013) y Velasco y Buteler (2017) enfatizan que las simulaciones por ordenador ayudan a los alumnos acercando situaciones reales al contexto de aprendizaje del estudiante. Como resultado, permiten construir relaciones específicas entre características de representación y desarrollo conceptual en un entorno particular.
2. El uso de herramientas y recursos basados en TIC en las sesiones de laboratorio (hiperelaces, códigos QR, *vodcasts*, prácticas con elementos reales...) fomenta un mejor aprovechamiento del tiempo de laboratorio a la vez que permite establecer relaciones profundas entre los conceptos teóricos y su aplicación real. En este sentido, es destacable recordar a Koponen (2007) o Brewe y Sawtelle (2018), quienes indican que las contribuciones a la construcción del modelo en Física deben ocurrir en el contexto de experimentos y experimentación, de manera que los modelos median entre la teoría de alto nivel y los datos de medición.
3. El uso de metodologías activas que fomenten la interacción y cooperación entre estudiantes (*flipped classroom*, ABP, estudio de casos, gamificación) e incluso tareas como la co-evaluación permiten realizar un ejercicio de asimilación de los conceptos teóricos desde una perspectiva complementaria. De acuerdo a Wartono y col. (2018), el trabajo colaborativo y generación de ciclos de preguntas ayudan a la construcción del modelo, tanto como la realimentación por pares de acuerdo a (Van Popta y col., 2017). Trabajar en un grupo implica múltiples interacciones para aclarar y fijar objetivos, ayudar

a evaluar otros puntos de vista y, por lo tanto, compartir conocimientos (Coll y col., 2005; De Hei y col., 2016; Gast y col., 2017; Hernández y col., 2015).

4. El uso de metodologías activas que fomenten el establecimiento de relaciones entre los temas tratados de forma eminentemente teórica y matemática en las asignaturas con aplicaciones reales (*webinars*, ABP, estudio de casos), y en particular si se relacionan con el ámbito laboral, por ejemplo con la participación de profesionales y empresas reconocidas, con el uso de versiones educativas de herramientas profesionales completas, contribuyen a aumentar la sensación de importancia y utilidad de los conceptos teóricos (Taasobshirazi y Carr, 2008).
5. El uso de metodologías activas además de fomentar el auto-aprendizaje, lo gana también con la propia gestión de dicho aprendizaje (entorno interactivo ELIGE, tutoría 2.0) contribuyen a mejorar las capacidades meta-cognitivas de los alumnos así como satisfacción y sentido de control y poder de decisión sobre su aprendizaje.
6. El uso de herramientas basadas en TIC para el desarrollo de metodologías docentes para la enseñanza de las Ciencias en el ámbito universitario produce una satisfacción general en los alumnos, lo que se correlaciona con un mejor aprovechamiento, según indica por ejemplo Regueras y col. (2009).

La combinación de todos estos recursos ha ayudado a los alumnos a construir un modelo mental robusto tal como adelantaba Halloun (2007), quien exponía que el modelo construido en torno a un concepto concreto es más completo y más complejo cuando se aborda a través de diferentes metodologías docentes. En este sentido, también Almudí y col. (2016) concretaba que si estos recursos se diseñaban a través de una secuencia específica favorecían dicha modelización.

Partiendo de las ideas previas de los alumnos, tal como recomendaban Oh y Oh (2011), se ha diseñado una serie de actividades basadas en recursos variados que han permitido anclar el modelo mental sobre semiconductor. Como decía Clement (2000), trabajando de esta manera, el proceso mismo de aprendizaje tiene lugar en paralelo con la evolución misma del modelo.

Todos estos resultados observados se traducen en una mejor comprensión de los conceptos teóricos, que se realiza desde enfoques diversos y con perspectivas no puramente matemáticas sino también visuales. Además, se fomenta una mejor contextualización de los temas estudiados, su importancia y necesidad en el mundo actual y también en el ámbito de los estudiantes, personal y profesionalmente, así

como se clarifica las relaciones existentes con otros ámbitos y en particular con otras asignaturas cursadas en los estudios.

De forma general, todos los aspectos anteriormente mencionados permiten concluir que el uso de metodologías docentes específicas basadas en TIC, aplicadas a la enseñanza de temas científicos y tecnológicos en Educación Superior contribuyen de manera positiva a la construcción y desarrollo de modelos mentales de conocimiento por parte de los alumnos de forma más sólida y correcta.

# Referencias

- Abbitt, J. y Ophus, J. (2008) What we know about the impacts of WebQuests: A review of research. *AACE journal* 16, 441-456.
- Adúriz-Bravo, A. (2001) Integración de la epistemología en la formación del profesorado deficiencias. *Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona*.
- Adúriz-Bravo, A. (2009) Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias* 4, 40-49.
- Allueva-Pinilla, A. I., Alexandre-Marco, J. L., Lozano Albalate, M. T., Trillo-Lado, R., Ilarri-Artigas, S., Sánchez-Azqueta, C., Fuentes-Broto, L., Bayarri-Fernández, S. y Aldea-Chagoyen, C. (2019) Projects to encourage female students in STEM areas. *Fifth International Conference on Higher Education Advances (HEAD)*, 1347-1354.
- Ally, M. y Tsinakos, A. (2014) *Increasing access through mobile learning*. Commonwealth of Learning (COL).
- Al-Mubaid, H. (2014) A new method for promoting critical thinking in online education. *International Journal of Advanced Corporate Learning (iJAC)* 7, 34-37.
- Almudí, J. M., Zuza, K. y Guisasola, J. (2016) Aprendizaje de la teoría de inducción electromagnética en cursos universitarios de física general. Una enseñanza por resolución guiada de problemas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 34, 7-24.
- Almudí-García, J. M., Garate, M. C. y Herranz, J. L. Z. (2013) Análisis de los argumentos elaborados por estudiantes de cursos introductorios de Física universitaria ante situaciones problemáticas pertenecientes al ámbito de la inducción electromagnética. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 101-106.
- Álvarez González, M. (2008) La tutoría académica en el Espacio Europeo de la Educación Superior. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado* 22, 71-88.
- Amadeu, R. y Leal, J. P. (2013) Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 177-188.
- Annan, J., Annan, B. y Wootton, M. (2016) *Active Learning Through Infinity Maps*.
- Annan, J., Bowler, J., Mentis, M. y Somerville, M. P. (2011) Between theory and practice falls the shadow: The learning theories profile. *Journal of Cognitive Education and Psychology* 10, 238-252.

- Aragón, M. d. M., Oliva-Martínez, J. M. y Navarrete, A. (2014) Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 337-356.
- Aronson, N., Arfstrom, K. M. y Tam, K. (2013) Flipped learning in higher education. *Estados Unidos: Pearson*.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., Hanesian, H. y col. (1976) *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3). Trillas México.
- Badillo, R. G. (2004) Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias* 3, 301-319.
- Barberá, E. (1999) *Evaluación de la enseñanza, evaluación del aprendizaje*. Edebé Barcelona.
- Barsalou, L. W. y col. (1999) Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences* 22, 577-660.
- Bernabé-Muñoz, I. (2009) Recursos TICS en el espacio Europeo de Educación Superior (EEES): las webquests. *Pixel-Bit. Revista de medios y educación*, 115-126.
- Bernardino Lopes, J. y Costa, N. (2007) The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education* 29, 811-851.
- Boettcher, F. y Meisert, A. (2011) Argumentation in science education: A model-based framework. *Science & Education* 20, 103-140.
- Bosque, M. G., Forcano, A. N. y Azqueta, C. S. (2021) Diseño de una App de Android para adaptar las actividades prácticas de laboratorio a la modalidad no presencial. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 157.
- Bosque, M. G., Forcano, A. N. y Sánchez-Azqueta, C. (2021) Diseño de una App para la realización de prácticas no presenciales. *5 Congreso Internacional Virtual en Investigación e Innovación Educativa (CIVINEDU)*, 19-20.
- Bosque, M. G., Señorans, G. D. y Azqueta, C. S. (2021) Uso de circuitos caóticos como estrategia para fomentar el interés en la electrónica en el Grado de Física. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 108.
- Bowler, J., Annan, J. y Mentis, M. (2007) Understanding the LearnerEnvironment Relationship: A Matrix of Perspectives. *School Psychology International* 28, 387-401.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. R. y col. (2000) *How people learn* (Vol. 11). Washington, DC: National academy press.
- Brewe, E. y Sawtelle, V. (2018) Modelling instruction for university physics: examining the theory in practice. *European Journal of Physics* 39, 054001.
- Buabeng-Andoh, C. (2012) Factors influencing teachers. Adoption and integration of information and communication technology into teaching: A review of the literature. *International Journal of Education and Development using ICT* 8.

- Cabero Almenara, J. y Barroso Osuna, J. M. (2016) Posibilidades educativas de la Realidad Aumentada. *Journal of New Approaches in Educational Research* 5, 46-52.
- Camacho, M. y Tíscar, L. (2011) M-Learning en España, Portugal y América Latina. *Salamanca, España: Universidad de Salamanca Servicio de Innovación y Producción Digital*.
- Caro, N. P. y Guardiola, M. (2012) Uso de Webquest para evaluar actividades de aprendizaje en cursos superiores de Estadística. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa-RELATEC* 11, 109-119.
- Cascarosa, E., Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C. y Aldea, C. (2020) Model-based teaching of physics in higher education: a review of educational strategies and cognitive improvements. *Journal of Applied Research in Higher Education* 13, 33-47.
- Casselden, B. y Pears, R. (2020) Higher education student pathways to ebook usage and engagement, and understanding: Highways and cul de sacs. *Journal of Librarianship and Information Science* 52, 601-619.
- Ceberio, M., Almudí, J. y Zubimendi, J. (2014) Análisis de los argumentos elaborados por estudiantes de cursos introductorios de Física universitaria ante situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias* 32, 71-88.
- Chen, Y., Wang, Y., Kinshuk y Chen, N.-S. (2014) Is FLIP enough? Or should we use the FLIPPED model instead? *Computers & Education* 79, 16-27.
- Cheon, J., Lee, S., Crooks, S. M. y Song, J. (2012) An investigation of mobile learning readiness in higher education based on the theory of planned behavior. *Computers & education* 59, 1054-1064.
- Cisco, U. (2020) Cisco annual internet report (2018–2023) white paper.
- Clement, J. (2000) Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education* 22, 1041-1053.
- Coll, R. K., France, B. y Taylor, I. (2005) The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education* 27, 183-198.
- Cuban, L. (1998) High-tech schools and low-tech teaching: A commentary. *Journal of computing in teacher education* 14, 6-7.
- De Hei, M., Strijbos, J.-W., Sjoer, E. y Admiraal, W. (2016) Thematic review of approaches to design group learning activities in higher education: The development of a comprehensive framework. *Educational Research Review* 18, 33-45.
- De la Cruz Tomé, M. (2003) Necesidad y objetivos de la formación pedagógica. *Revista de educación* 331, 35-66.
- DeLone, W. H. y McLean, E. R. (1992) Information systems success: The quest for the dependent variable. *Information systems research* 3, 60-95.

- DeLone, W. H. y McLean, E. R. (2003) The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. *Journal of management information systems* 19, 9-30.
- Deslauriers, L., Schelew, E. y Wieman, C. (2011) Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class. *Science* 332, 862-864.
- Dimitrijević, S. (2000) *Understanding semiconductor devices*.
- Dochy, F., Segers, M. y Sluijsmans, D. (1999) The use of self-, peer and co-assessment in higher education: A review. *Studies in Higher Education* 24, 331-350.
- Dodge, B. (1995) Some thoughts about WebQuests. <http://webquest.sdsu.edu/about.html>.
- Durán, R., Estay-Niculcar, C. y Álvarez, H. (2015) Adopción de buenas prácticas en la educación virtual en la educación superior. *Aula abierta* 43, 77-86.
- Erduran, S. y Duschl, R. A. (2004) Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom.
- Estebanell Minguell, M., Ferrés Font, J., Cornellas, P. y Codina Regás, D. (2012) Realidad aumentada y códigos QR en educación. *Tendencias emergentes en educación con TIC*, 135-157.
- Fagúndez, T. y Castells, M. (2012) La argumentación en clases universitarias de física: una perspectiva retórica. *Enseñanza de las ciencias* 30, 0153-174.
- Flores-Lueg, C. (2015) Análisis de experiencias docentes con implementación de WebQuest en Educación Superior. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, a303.
- Fojtik, R. (2015) Ebooks and mobile devices in education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 182, 742-745.
- Forawi, S. A. (2016) Standard-based science education and critical thinking. *Thinking Skills and Creativity* 20, 52-62.
- García Carmona, A. y col. (2009) Investigación en didáctica de la Física: tendencias actuales e incidencia en la formación del profesorado. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3 (2), 369-375.
- Gast, I., Schildkamp, K. y van der Veen, J. T. (2017) Team-based professional development interventions in higher education: A systematic review. *Review of educational research* 87, 736-767.
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016) *Modelling-based teaching in science education* (Vol. 9). Springer.
- Gilbert, J. K. y Treagust, D. (2009) *Multiple representations in chemical education* (Vol. 4). Springer.
- Gilboy, M. B., Heinerichs, S. y Pazzaglia, G. (2015) Enhancing Student Engagement Using the Flipped Classroom. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 47, 109-114.



- Gilroy, S. P., McCleery, J. P. y Leader, G. (2017) Systematic review of methods for teaching social and communicative behavior with high-tech augmentative and alternative communication modalities. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders* 4, 307-320.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2013) MEMS: del aula a la Wii. *VII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 61-62.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) E-learning data base for a Wiki-MEMS. *International Congress on Education, Innovation and Learning Technology (ICEILT)*, 28.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014b) El e-portfolio como herramienta de evaluación en la asignatura Micro y Nano Sistemas. *VIII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 182-183.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014c) MEMS: From the classroom to the Wii. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAAE)*, 1-5.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2015) Estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (I+D+i) en el Máster en Física y Tecnologías Físicas. *IX Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 14-15.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016) Electrónica enREDada: An experience with a webinar program. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAd)*, 78-83.
- Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000) Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education* 22, 891-894.
- González-Gómez, D., Jeong, J. S. y Picó, A. G. (2017) La enseñanza de contenidos científicos a través de un modelo Flipped: Propuesta de instrucción para estudiantes del Grado de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias* 35, 71-87.
- Good, T. L. y Brophy, J. E. (1996) *Psicología educativa contemporánea*. McGraw-Hill.
- Guo, P. J., Kim, J. y Rubin, R. (2014) How video production affects student engagement: An empirical study of MOOC videos. *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference*, 41-50.
- Gutiérrez, R. (2004) La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique* 42, 8-18.
- Halloun, I. A. (2007) Mediated modeling in science education. *Science & Education* 16, 653-697.
- Hansch, A., Hillers, L., McConachie, K., Newman, C., Schildhauer, T. y Schmidt, J. P. (2015) Video and online learning: Critical reflections and findings from the field.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000) A typology of school science models. *International journal of science education* 22, 1011-1026.

- Herala, A., Knutas, A., Vanhala, E. y Kasurinen, J. (2017) Experiences from video lectures in software engineering education. *International Journal of Modern Education and Computer Science* 9, 17.
- Hernández, M. I., Couso, D. y Pintó, R. (2015) Analyzing students learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology* 24, 356-377.
- Hewson, P. W. (1981) A conceptual change approach to learning science. *European journal of science education* 3, 383-396.
- Hinze, A., Timpany, C., Vanderschantz, N. y Thomson, S. (2018) Who was that? Enriched eReading through in-book visualisation. *Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference (HCI)*, 1-11.
- Holsapple, C. W. y Lee-Post, A. (2006) Defining, assessing, and promoting e-learning success: An information systems perspective. *Decision sciences journal of innovative education* 4, 67-85.
- Hudha, M. N., Batlolona, J. R. y col. (2017) How are the physics critical thinking skills of the students taught by using inquiry-discovery through empirical and theoretical overview? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 14, 691-697.
- Justi, R. (2009) Learning how to model in science classroom: Key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química* 20, 32-40.
- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002) Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education* 24, 369-387.
- King, A. (1993) From sage on the stage to guide on the side. *College teaching* 41, 30-35.
- Kirkwood, A. y Price, L. (2005) Learners and learning in the twenty-first century: what do we know about students attitudes towards and experiences of information and communication technologies that will help us design courses? *Studies in higher education* 30, 257-274.
- Kneubil, F. B. (2016) Models in physics teaching: an approach to highlight the nature of knowledge. *Physics Education* 51, 065008.
- Koponen, I. T. (2007) Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education* 16, 751-773.
- Kossey, J., Berger, A. y Brown, V. (2015) Connecting to educational resources online with QR codes. *Fdla Journal* 2, 1.
- Laaser, W. y Toloza, E. A. (2017) The changing role of the educational video in higher distance education. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning* 18.

- Law, C.-y. y So, S. (2010) QR codes in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)* 3, 7.
- Lloret Catala, C., Suárez Guerrero, C. y Hernández-San-Miguel, J. (2015) Revisión de la producción científica sobre WebQuest en los últimos 20 años: análisis bibliométrico en Scopus y Web of Science. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, a308-a308.
- Maher, M., Lipford, H. y Singh, V. (2013) Flipped classroom strategies using online videos. *The Journal of Information Systems Education* 23, 7-11.
- March, T. (2003) The Learning Power of WebQuests. *Educational Leadership* 61, 42-47.
- March, T. (1998) Why webquests? An introduction.
- Martín, M. V. y Jordi, Q. (2011) Las webquests en el ámbito universitario español. *Digital Education Review*, 36-55.
- Martínez Martínez, M. d. R. (2010) Guia per a l'avaluació de competències als laboratoris en l'àmbit de Ciències i Tecnologia. *Presentació de guies per a l'avaluació de competències: Enginyeria, Arquitectura i Laboratoris de Ciències i Tecnologia (AQU)*.
- Miller, G. E. (1990) The assessment of clinical skills/competence/performance. *Academic medicine* 65, S63-7.
- Mohorovii, S. y Tijan, E. (2010) New technologies in teaching university level programming. *The 33rd International Convention MIPRO*, 1024-1028.
- Monereo, C. y Pozo, J. I. (2003) La cultura educativa en la universidad: nuevos retos para profesores y alumnos. *La universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía*, 15-30.
- Montero, Y. H. (2006) Factores del diseño web orientado a la satisfacción y no-frustración de uso. *Revista española de documentación científica* 29, 239-257.
- Motiwalla, L. F. (2007) Mobile learning: A framework and evaluation. *Computers & education* 49, 581-596.
- Nersessian, N. J. (2002) Maxwell and the method of physical analogy: Model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*, 129-166.
- Nicolaou, C. y Constantinou, C. (2014) Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review* 13, 52-73.
- O'Flaherty, J. y Phillips, C. (2015) The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education* 25, 85-95.
- Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011) What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education* 33, 1109-1130.
- Oliva, J. M., Aragón, M. y Cuesta, J. (2015) The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education* 13, 751-791.

- Oliva, J. M. (2019) Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 37, 5-24.
- Olmo, A., Gómez, I., Molina, A. y Rivera, O. (2012) Integration of multimedia contents in the teaching of electronics: A practical test case in the teaching of digital circuits at the university of Seville. *2012 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 54-57.
- Onrubia, J. (2005) *La potencialidad de las tecnologías de la información y de la comunicación para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje en las aulas universitarias*.
- Osicka, R. M., Fernández, M. L., Valenzuela, A. M., Buchhamer, E. E. y Giménez, M. C. (2013) Química analítica: aprendizaje a partir de WebQuest. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 4, 131-138.
- Pfundt, H. y Duit, R. (2009) Students and Teachers' Conceptions and Science Education. A bibliography.
- Pierce, R. y Fox, J. (2012) Vodcasts and Active-Learning Exercises in a Flipped Classroom Model of a Renal Pharmacotherapy Module. *American journal of pharmaceutical education* 76, 196.
- Pinilla, A. I. A., Marco, J. L. A., López, J. M., Chagoyen, C. A., Lanzarote, I. Á., Sevil, J. S. A., Fernández, S. B., López, Ó. C., Broto, L. F., Rubio, A. P. G., Monterde, C. G., López, I. H., Artigas, S. I., Albalate, M. T. L., Gutiérrez, T. M., Hijós, A. Q., Yoldi, M. J. R., Azqueta, C. S., Pastor, R. M. S., ... Lado, R. T. (2019) Entornos virtuales como foros de reflexión y colaboración para la mejora del aprendizaje con TIC. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 17-18.
- Pinilla, A. I. A., Marco, J. L. A., López, J. M., Gutiérrez, T. M., Rubio, A. P. G., Sevil, J. S. A., Lanzarote, I. Á., Broto, L. F., Albalate, M. T. L., Fernández, S. B., López, Ó. C., Artigas, S. I., López, I. H., Azqueta, C. S., Hijós, A. Q., Lozano, C. P., Pastor, R. M. S., Otín, C. C., de la Fuente, F. P., ... Lado, R. T. (2021) El apoyo de las TIC para la continuidad pedagógica en tiempos de pandemia. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 19-20.
- Piramuthu, S. (2005) Knowledge-based web-enabled agents and intelligent tutoring systems. *IEEE Transactions on Education* 48, 750-756.
- Pocoví, M. C. y Collivadino, C. (2014) Traducción entre lenguajes simbólicos de distintas áreas del conocimiento: el caso del flujo del campo eléctrico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 32, 53-69.
- Prendes Espinosa, C. (2015) Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 187-203.
- Prins, G. T., Bulte, A. M., Van Driel, J. H. y Pilot, A. (2009) Student involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education* 39, 681-700.

- Regueras, L. M., Verdu, E., Muñoz, M. F., Perez, M. A., de Castro, J. P. y Verdu, M. J. (2009) Effects of competitive e-learning tools on higher education students: A case study. *IEEE Transactions on Education* 52, 279-285.
- Rodríguez Hoyos, C., Calvo Salvador, A., Haya Salmón, I. y col. (2015) La tutoría académica en la educación superior. Una investigación a partir de entrevistas y grupos de discusión en la Universidad de Cantabria (España).
- Sánchez Rodríguez, J., Ruiz Palmero, J. y Sánchez Vega, E. (2017) Flipped classroom. Claves para su puesta en práctica.
- Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C., Alexandre-Marco, J., Allueva-Pinilla, A., Álvarez-Lanzarote, I., Bayarri-Fernández, S., Ilarri-Artigas, S., Lozano-Albalate, M., Quintas-Hijos, A. y Trillo-Lado, R. (2019) Using twitter to promote the teaching-learning of scientific disciplines. *International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI)*, 6367-6374.
- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2019) Open educational resources to implement an online tutoring. *International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI)*, 2410-2416.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016a) Using the Wiimote to Learn MEMS in a Physics Degree Program. *IEEE Transactions on Education* 59, 169-174.
- Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C., Celma, S., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2019) Intervención en el aula basada en recursos educativos de libre acceso. *V Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC)*, 647-651.
- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2020) Quick response codes as a complement for the teaching of Electronics in laboratory activities. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 1-15.
- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Cascarosa, E., Aldea, C. y Gimeno, C. (2019) Application of a flipped classroom for model-based learning in electronics. *The International Journal of Engineering Education* 35, 938-946.
- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Aldea, C., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2018) Using hyperdata in a laboratory of electronics - QR codes applied to experimental learning. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 467-471.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2013) Las applets como recurso para la enseñanza de la Electrónica. *VII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 73-74.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) Applets for Physical Electronics learning. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 1-5.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014b) E-learning data base for a Wiki-MEMS. *VIII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 104-105.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2015a) E-learning environment for Electronics in Physics Degree. *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE)*, 127-134.

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2015b) Electrónica enREDada. IX *Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 120-121.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016b) Enhanced eBooks in the teaching/learning process of electronics. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAd)*, 84-91.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016c) Estrategia de m-learning aplicado a la enseñanza-aprendizaje de la Electrónica. *X Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 194-195.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016d) Seminarios Web 'Electrónica enredada'. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 429-436.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2017) Apuntes enriquecidos para la enseñanza de la Electrónica. *VIII Jornada de Buenas Prácticas en la docencia universitaria con apoyo de TIC*, 1-16.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017a) Apuntes enriquecidos para la enseñanza de la Electrónica en Educación Superior. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 86.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017b) Use of hyperdata in a Laboratory of Electronics (QR codes). *4th International Conference on Learning, Innovation and Competitiveness (CINAIC)*, 74-79.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017c) Uso de hiperdatos mediante códigos QR en un laboratorio de Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIRED)*, 313.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017d) Uso de hiperdatos mediante códigos QR en un laboratorio de Electrónica. *XI Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 210-211.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017e) Webquest para el desarrollo de competencias en el ámbito de la Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIRED)*, 324.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2018a) Estrategia didáctica basada en TIC para construir modelos mentales en física en educación superior. *28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 145-150.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2018b) Using hyperdata in a laboratory of electronics (QR codes applied to experimental learning). *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 473-477.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2019) ICT-based didactic strategies to build knowledge models in Electronics in Higher Education. *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1-5.

- Sánchez-Martín, J., Cañada-Cañada, F. y Dávila-Acedo, M. A. (2017) Just a game? Gamifying a general science class at university: Collaborative and competitive work implications. *Thinking Skills and Creativity* 26, 51-59.
- Sanmartí, N. (2002) *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis Madrid.
- Shindler, J. (2009) *Transformative classroom management: Positive strategies to engage all students and promote a psychology of success*. John Wiley & Sons.
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013) Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 9-25.
- Stufflebeam, D. L. y Coryn, C. L. (2014) *Evaluation theory, models, and applications* (Vol. 50). John Wiley & Sons.
- Taasobshirazi, G. y Carr, M. (2008) A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review* 3, 155-167.
- Tejada Fernández, J. (2011) La evaluación de las competencias en contextos no formales: dispositivos e instrumentos de evaluación.
- Tenbrink, T. D. (1981) *Evaluación: guía práctica para profesores* (Vol. 22).
- Tomé, C. (1981) *Interacción en el aula universitaria*. Madrid: IMCIE.
- Torcal-Milla, F. J., López, A. M., Sánchez-Azqueta, C. y Lobera, J. (2020) Materiales de soporte para la docencia del electromagnetismo. Aprendizaje activo y contextualizado. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 89.
- Torres Gordillo, J. J. y Perera Rodríguez, V. H. (2010) La rúbrica como instrumento pedagógico para la tutorización y evaluación de los aprendizajes en el foro online en educación superior. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación* 36, 141-149.
- Treagust, D. F. y Harrison, A. G. (2000) In search of explanatory frameworks: An analysis of Richard Feynman's lecture 'Atoms in motion'. *International Journal of Science Education* 22, 1157-1170.
- Turel, Y. K. y Sanal, S. O. (2018) The effects of an ARCS based e-book on student's achievement, motivation and anxiety. *Computers & Education* 127, 130-140.
- Van Dinther, M., Dochy, F. y Segers, M. (2011) Factors affecting students self-efficacy in higher education. *Educational research review* 6, 95-108.
- Van Popta, E., Kral, M., Camp, G., Martens, R. L. y Simons, P. R.-J. (2017) Exploring the value of peer feedback in online learning for the provider. *Educational Research Review* 20, 24-34.
- Velasco, J. J. y Buteler, L. M. (2017) Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años.
- Verma, A. y Singh, A. (2010) WebinarEducation through digital collaboration. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence* 2, 131-136.

- Wang, J., Jou, M., Lv, Y. y Huang, C.-C. (2018) An investigation on teaching performances of model-based flipping classroom for physics supported by modern teaching technologies. *Computers in Human Behavior* 84, 36-48.
- Wang, S. y Hsu, H.-Y. (2008) Use of the Webinar Tool (Elluminate) to Support Training: The Effects of Webinar-Learning Implementation from Student-Trainers' Perspective. *Journal of Interactive Online Learning* 7.
- Wartono, W., Diantoro, M. y Bartolona, J. (2018) Influence of problem based learning model on student creative thinking on elasticity topics a material. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 14, 32-39.
- Woolfitt, Z. (2015) The effective use of video in higher education. *Lectoraat Teaching, Learning and Technology Inholland University of Applied Sciences*.
- Wright, G. B. (2011) Student-centered learning in higher education. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education* 23, 92-97.
- Zabalza Beraza, M. A. (2012) El estudio de las buenas prácticas docentes en la enseñanza universitaria. *REDU. Revista de docencia universitaria* 10, 17-42.
- Zappe, S., Leicht, R., Messner, J., Litzinger, T. y Lee, H. W. (2009) Flipping the classroom to explore active learning in a large undergraduate course. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.
- Zúñiga, L. G. L., Pla, M. A. M., García, F. B. y Dualde, J. V. B. (2012) Project for innovation and educational improvement EvalTICs. *2012 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 267-272.
- Zydney, J. y Warner, Z. (2015) Mobile Apps for Science Learning: Review of Research. *Computers & Education* 94.



En este Apéndice se presenta un listado, por orden cronológico inverso, las publicaciones realizadas por el doctorando en el ámbito de la Innovación e Investigación Educativa.

## A.1. Publicaciones en revista

- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2020) Quick response codes as a complement for the teaching of Electronics in laboratory activities. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 1-15.
- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Cascarosa, E., Aldea, C. y Gimeno, C. (2019) Application of a flipped classroom for model-based learning in electronics. *The International Journal of Engineering Education* 35.(3), 938-946.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016a) Using the Wiimote to Learn MEMS in a Physics Degree Program. *IEEE Transactions on Education* 59.(3), 169-174.
- Cascarosa, E., Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C. y Aldea, C. (2020) Model-based teaching of physics in higher education: a review of educational strategies and cognitive improvements. *Journal of Applied Research in Higher Education* 13.(1), 33-47.

## A.2. Publicaciones en conferencias internacionales

- Bosque, M. G., Forcano, A. N. y Sánchez-Azqueta, C. (2021) Diseño de una App para la realización de prácticas no presenciales. *5 Congreso Internacional Virtual en Investigación e Innovación Educativa (CIVINEDU)*, 19-20.

- Sánchez-Azqueta, C., Cascarosa, E., Celma, S., Gimeno, C. y Aldea, C. (2019) Open educational resources to implement an online tutoring. *International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI)*, 2410-2416.
- Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C., Alejandro-Marco, J., Allueva-Pinilla, A., Álvarez-Lanzarote, I., Bayarri-Fernández, S., Ilarri-Artigas, S., Lozano-Albalate, M., Quintas-Hijós, A. y Trillo-Lado, R. (2019) Using twitter to promote the teaching-learning of scientific disciplines. *International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI)*, 6367-6374.
- Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C., Celma, S., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2019) Intervención en el aula basada en recursos educativos de libre acceso. *V Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC)*, 647-651.
- Allueva-Pinilla, A. I., Alejandro-Marco, J. L., Lozano Albalate, M. T., Trillo-Lado, R., Ilarri-Artigas, S., Sánchez-Azqueta, C., Fuentes-Broto, L., Bayarri-Fernández, S. y Aldea-Chagoyen, C. (2019) Projects to encourage female students in STEM areas. *Fifth International Conference on Higher Education Advances (HEAd)*, 1347-1354.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2019) ICT-based didactic strategies to build knowledge models in Electronics in Higher Education. *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1-5.
- Sánchez-Azqueta, C., Celma, S., Aldea, C., Gimeno, C. y Cascarosa, E. (2018) Using hyperdata in a laboratory of electronics - QR codes applied to experimental learning. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 467-471.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2018a) Estrategia didáctica basada en TIC para construir modelos mentales en física en educación superior. *28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 145-150.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2018b) Using hyperdata in a laboratory of electronics (QR codes applied to experimental learning). *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 473-477.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017c) Uso de hiperdatos mediante códigos QR en un laboratorio de Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIREI)*, 313.

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017e) Webquest para el desarrollo de competencias en el ámbito de la Electrónica. *I Congreso Virtual Internacional y III Congreso Virtual Iberoamericano sobre Recursos Educativos Innovadores (CIREI)*, 324.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017b) Use of hyperdata in a Laboratory of Electronics (QR codes). *4th International Conference on Learning, Innovation and Competitiveness (CINAIC)*, 74-79.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016b) Enhanced eBooks in the teaching/learning process of electronics. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAD)*, 84-91.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016) Electrónica enREDada: An experience with a webinar program. *2nd International Conference on Higher Education Advances (HEAD)*, 78-83.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2015a) E-learning environment for Electronics in Physics Degree. *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE)*, 127-134.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) E-learning data base for a Wiki-MEMS. *International Congress on Education, Innovation and Learning Technology (ICEILT)*, 28.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014a) Applets for Physical Electronics learning. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 1-5.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014c) MEMS: From the classroom to the Wii. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)*, 1-5.

### A.3. Publicaciones en conferencias nacionales

- Pinilla, A. I. A., Marco, J. L. A., López, J. M., Gutiérrez, T. M., Rubio, A. P. G., Sevil, J. S. A., Lanzarote, I. Á., Broto, L. F., Albalate, M. T. L., Fernández, S. B., López, Ó. C., Artigas, S. I., López, I. H., Azqueta, C. S., Hijós, A. Q., Lozano, C. P., Pastor, R. M. S., Otín, C. C., de la Fuente, F. P., ... Lado, R. T. (2021) El apoyo de las TIC para la continuidad pedagógica en tiempos de pandemia. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 19-20.

- Bosque, M. G., Forcano, A. N. y Azqueta, C. S. (2021) Diseño de una App de Android para adaptar las actividades prácticas de laboratorio a la modalidad no presencial. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 157.
- Bosque, M. G., Señorans, G. D. y Azqueta, C. S. (2021) Uso de circuitos caóticos como estrategia para fomentar el interés en la electrónica en el Grado de Física. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 108.
- Torcal-Milla, F. J., López, A. M., Sánchez-Azqueta, C. y Lobera, J. (2020) Materiales de soporte para la docencia del electromagnetismo. Aprendizaje activo y contextualizado. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 89.
- Pinilla, A. I. A., Marco, J. L. A., López, J. M., Chagoyen, C. A., Lanzarote, I. Á., Sevil, J. S. A., Fernández, S. B., López, Ó. C., Broto, L. F., Rubio, A. P. G., Monterde, C. G., López, I. H., Artigas, S. I., Albalate, M. T. L., Gutiérrez, T. M., Hijós, A. Q., Yoldi, M. J. R., Azqueta, C. S., Pastor, R. M. S., ... Lado, R. T. (2019) Entornos virtuales como foros de reflexión y colaboración para la mejora del aprendizaje con TIC. *Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC (USATIC)*, 17-18.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017a) Apuntes enriquecidos para la enseñanza de la Electrónica en Educación Superior. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 86.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016d) Seminarios Web 'Electrónica enredada'. *Jornadas Virtuales de Colaboración y Formación Virtual USATIC: Ubicuo y Social: Aprendizaje con TIC*, 429-436.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S., Cascarosa, E. y Aldea, C. (2017d) Uso de hiperdatos mediante códigos QR en un laboratorio de Electrónica. *XI Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 210-211.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2017) Apuntes enriquecidos para la enseñanza de la Electrónica. *VIII Jornada de Buenas Prácticas en la docencia universitaria con apoyo de TIC*, 1-16.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2016c) Estrategia de m-learning aplicado a la enseñanza-aprendizaje de la Electrónica. *X Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 194-195.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Celma, S. y Aldea, C. (2015b) Electrónica enREDada. *IX Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 120-121.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2015) Estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (I+D+i) en el Máster en Física y Tecnologías Físicas. *IX Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 14-15.

- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014b) E-learning data base for a Wiki-MEMS. *VIII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 104-105.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2014b) El e-porfolio como herramienta de evaluación en la asignatura Micro y Nano Sistemas. *VIII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 182-183.
- Sánchez-Azqueta, C., Gimeno, C., Aldea, C. y Celma, S. (2013) Las applets como recurso para la enseñanza de la Electrónica. *VII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 73-74.
- Gimeno, C., Sánchez-Azqueta, C., Aldea, C. y Celma, S. (2013) MEMS: del aula a la Wii. *VII Jornadas de Innovación e Investigación Educativa*, 61-62.



# PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

En este Apéndice se listan los premios y reconocimientos derivados del trabajo realizado en esta Tesis Doctoral y de la trayectoria del doctorando en el ámbito de la Innovación e Investigación Educativa.

## B.1. Proyecto de Tesis Doctoral

El Proyecto de Tesis de la presente Tesis Doctoral ha sido reconocido con:

- Accésit *ex aequo* en la I Edición del Premio Santander a Proyectos de Tesis Doctorales sobre el uso de las TIC en Docencia, otorgado por la Cátedra Banco Santander de la Universidad de Zaragoza en el año 2018.

## B.2. Proyectos de Innovación Docente

El doctorando ha participado en más de 15 proyectos de Innovación Docente durante su trayectoria, recibiendo como consecuencia de los trabajos desarrollados:

- Segundo Accésit en la IX Edición del Premio Santander, otorgado por la Cátedra Santander de la Universidad de Zaragoza en el año 2016, por el Proyecto *Creación de apuntes enriquecidos para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Electrónica en educación superior*.
- Finalista en la VIII Edición del Premio Santander, otorgado por la Cátedra Santander de la Universidad de Zaragoza en el año 2015, por el Proyecto *Entorno global de aprendizaje basado en TIC: ELIGE (e-Learning Itinerary Global Environment)*.





