

# Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Juan M. Gandarias Palacios, Antonio J. Muñoz-Ramírez y  
Jesús M. Gómez-de-Gabriel

Dto. de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Universidad de Málaga  
jmgandarias@uma.es



## Introducción

En este trabajo se presenta la experiencia de la utilización docente de un dispositivo háptico desarrollado como una nueva versión del Haptic Paddle, creado en la Universidad de Stanford a mediados de los 90. Se trata de un dispositivo educativo de bajo coste y simple que puede ser ensamblado y programado por los estudiantes, y que se usó para enseñanza de dinámica de sistemas. El diseño realizado usa una electrónica completamente off the shelf, rodamientos y tornillería métrica estándar y piezas fabricadas mediante impresión 3D. En este trabajo se presenta este dispositivo junto con la experiencia de su utilización docente, mediante aprendizaje basado en proyectos, en una asignatura de máster de ingeniería mecatrónica. Se trata de la primera experiencia con un total de ocho kits de haptic paddle en la asignatura de Teleoperación y Telerrobótica, junto con aprendizaje basado en proyectos (ABP) y el uso de lenguajes de modelado. Se describen la organización y el desarrollo de las sesiones de prácticas con conclusiones sobre la adecuación del los dispositivos y métodos utilizados.



## Haptic Paddle del TaIS Lab

### Características generales

Cada equipo consta de un *haptic paddle* construido mediante técnicas de fabricación aditivas con impresoras 3D comerciales de tecnología FDM (Modelado de Fusión por Deposición), con transmisión tipo *capstan*, un motor de corriente continua *mitsumi* de la serie m25n-2 con un encoder óptico de 448 pulsos por revolución, un Arduino Mega 2560 y una etapa de potencia L298N.

### Modelado de dominio específico y ABP

El motivo principal de utilizar programación basada en modelos de dominio específico (como Simulink) es eliminar la necesidad de explicar conceptos de programación, de forma que el profesor se pueda centrar en los contenidos propios de la materia.

Por otro lado, en el ABP se crea una experiencia de aprendizaje que motiva al estudiante mediante la realización de un proyecto donde se ponen en práctica conceptos ya aprendidos pero que se muestran insuficientes para la resolución del proyecto. Se crea así la necesidad del aprendizaje de nuevos conceptos, donde el profesor posee tan sólo el papel de guía y el estudiante debe tomar un rol activo, desarrollando así capacitaciones que van a requerir en su vida profesional. El ABP es un estimulante del AC referido a pequeños grupos que reciben instrucciones del profesor para lograr el objetivo del proyecto propuesto, y los estudiantes trabajan en su consecución aprendiendo a través de la colaboración.



Todo ABP debe de cumplir con dos condicionantes: ser interesante para los estudiantes a nivel personal, y cumplir con un fin educativo. El interés de los estudiante se motiva proponiéndoles que ellos mismos creen el enunciado y objetivos del proyecto, mientras que el fin educativo se consigue definiendo los componentes y herramientas a utilizar (*haptic paddle*) y supervisando que los proyectos propuestos se encuentren dentro de los contenidos de la asignatura.

## Aplicación Docente

Los *haptic paddle* se han utilizado en la asignatura *Teleoperación y Telerrobótica* del Máster en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Málaga durante el segundo cuatrimestre del curso 2016-17. La asignatura cuenta con 14 alumnos, por lo que se han dispuesto 8 equipos de prácticas, y los alumnos han formado equipos por parejas o individuales. En la tabla se incluye un resumen del temario.

Semana	Tema
1	Introducción a la Teleoperación y la Telerrobótica
2	Haptics
3	Problemas y Métodos de Teleoperación
4	Sistemas Bilaterales
5	Retardos y métodos de evitación de los efectos
6	Métodos telerrobóticos
7-12	Proyecto tutorizado
13	Presentación de proyecto y evaluación

### Conocimientos previos al uso de los equipos

Dado que la asignatura pertenece al segundo semestre del máster, se pueden presuponer ciertos conocimientos que los alumnos ya deben haber adquirido. Por tanto, se entiende que los alumnos poseen conocimientos de programación hardware en lenguajes como C/C++, que conocen el entorno de Matlab y Simulink, conocimientos técnicos de electrónica relativos al uso de microcontroladores, sensores y actuadores, así como de teoría y estrategias de control y modelado de sistemas mecatrónicos.

### Organización del programa de prácticas

Las seis últimas se han dedicado al desarrollo del proyecto de alumnos. Cada semana cuenta con dos sesiones de 1.5 h, de las cuales la primera incluye presentaciones teóricas del profesor introduciendo los objetivos de la semana y proporcionando los métodos y materiales de trabajo, y la segunda es exclusivamente de trabajo tutorizado del alumno.

Semana	Sesión 1	Sesión 2	Objetivos
7	Presentación del <i>Haptic Paddle</i>	Ensamblado mecánico	Dispositivo ensamblado
8	Electrónica de control y conexionado	Conexionado y test	Ejecución de los programas de test
9	Introducción a la programación	Programación de modelos dinámicos	Ejemplo de muelle y fricción
10	Métodos y dispositivos de calibración de par y lectura de ángulo	Programación de bloques con magnitudes reales	Bloques con magnitudes reales
11	Proyectos: reglas, ideas y limitaciones	Diseño de proyecto	prototipo de proyecto
12	Proyecto	Documentación	Demostraciones

### Proyectos derivados de la aplicación de la metodología ABP

Para la realización de proyectos, los alumnos se han organizado por grupos y se les ha pedido que diseñen sus propios proyectos que han sido refinados con la ayuda del profesor para tener en cuenta las limitaciones de los dispositivos y del tiempo disponible para su realización.

Gr.	Título	Objetivos
1	Péndulo invertido	Programación de la dinámica de un péndulo invertido con visualización gráfica bidimensional.
2	Angry Haptics	Programación de un sistema compuesto por dos <i>haptic paddle</i> donde uno de ellos controla el lanzador y otro la recepción en una plataforma.
3	Rehabilitación de muñeca	Sistema de ejercicios con fuerzas progresivas en secuencia para la realización controlada de ejercicios de rehabilitación física.
4	Control de bola en plataforma	Control de la posición unidimensional de una bola sobre una plataforma pivotante con reflexión de fuerzas.
5	3D pong	Juego en el que se hace botar verticalmente una pelota con una raqueta y visualización 3D.
6	Haptic transparente	Compensación de la dinámica de la paleta y simulación de un péndulo rígido con fuerzas externas.

## Evaluación y Resultados

Para evaluar de manera objetiva el efecto del uso de los *haptic paddle* como herramienta para el aprendizaje basado en proyectos, se ha utilizado un cuestionario con preguntas relacionadas con los dispositivos hápticos, que se formuló a alumnos del curso 2015/16 que no usaron este dispositivo, y a alumnos del curso 2016/17 que sí lo han utilizado como equipo de prácticas en su proyecto de la asignatura de Teleoperación y telerrobótica del Máster de Ingeniería Mecatrónica. No obstante, durante ambos cursos se han realizado también prácticas de otro tipo con dispositivos hápticos comerciales (Falcon) de tres grados de libertad, utilizando el lenguaje de programación LabVIEW. Los resultados del cuestionario ofrecen una calificación media muy superior en el caso del curso 2016/17 (8.2 sobre 10) sobre el curso en el que no se utilizó (5.2 sobre 10), si bien el número de sesiones dedicado a trabajar sobre el tema se ha incrementado.

## Agradecimientos

Financiado por el proyecto de Innovación educativa de la Universidad de Málaga PIE 15-180, por Seeed Studio ([seeedstudio.com](http://seeedstudio.com)) e Ingeniería UNO ([ingenieriauno.com](http://ingenieriauno.com)).

Además, se agradece la colaboración de Sepehr Akbari Kalhor en los diseños de los prototipos, así como a todos los alumnos de la asignatura de Teleoperación y Telerrobótica del Máster de Mecatrónica.