

ANÁLISIS DE UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA REMOTA SOBRE PROCESADORES DIGITALES DE SEÑAL DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS MODELOS DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA

Sergio Luis Toral Marín

Sergio Gallardo Vázquez

Federico José Barrero García

Departamento de Ingeniería Electrónica.

Rocío Martínez Torres

Dpto. de Administración de Empresas y Comercialización e Investigación de Mercados (Marketing)

Universidad de Sevilla.

RESUMEN

Este artículo presenta un estudio exploratorio sobre el desarrollo de un modelo estructural y de medida basado en el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM, Technology Acceptance Model) para una herramienta educativa con acceso remoto vía Web. El objetivo del trabajo consiste no sólo en medir el uso de la herramienta sino obtener también las variables externas con una influencia significativa en su uso, para poder planificar futuras mejoras de la herramienta. La herramienta, diseñada con Shockwave™ y Macromedia Director™, es un entorno educativo con acceso Web aplicado en una asignatura del grado de ingeniería de telecomunicación relacionada con modernas arquitecturas microprocesadoras y sus aplicaciones, aunque la metodología propuesta podría ser extendida a herramientas similares. Uno de los objetivos del trabajo es precisamente cubrir la falta de estudios científicos en la validación de este tipo de herramientas educativas.

Palabras clave: Sistemas de información, Modelo de Aceptación Tecnológica, entornos distribuidos de aprendizaje, sistemas multimedia, laboratorios remotos.

ABSTRACT

This paper is presenting an exploratory study about the development of a structural and a measurement model based on the Technological Acceptance Model (TAM) to be applied to a Web remote learning tool. The goal of this work is not only to measure the use of the tool but to obtain the external variables with a significant influence over this use, for future improvements planning. The tool, designed using Shockwave™ and Macromedia Director™, is a Web educational environment applied in an undergraduate advanced microprocessor course, although this methodology could be easily extended to similar tools. Another goal of this work is precisely to fill the lack of scientific studies about the validation of e-learning educational tools.

Keywords: Information Systems, Technological Acceptance Model, distributed learning environments, multimedia, remote lab.

1. Introducción

A lo largo de los últimos años se han producido cambios importantes en el campo de la enseñanza de la ingeniería, especialmente en el ámbito de la electrónica y la computación, tanto en la definición de los contenidos como de las metodologías docentes (Carley y otros, 2000; Wilson y Jennings, 2000; Taylor y otros, 2003). Desde la aparición de los PC, el aprendizaje a través de medios informáticos se ha incrementado drásticamente (Herramientas multimedia (Bagui, 1998; Aedo y otros, 2000), soportes educativos a través de Internet (Pahl, 2003; Almeida y otros, 2003; Metzger y otros, 2003), entornos de simulación (Conole y otros, 2004; Christian y otros, 2001), etc.).

Aunque muchas de estas herramientas pueden resultar satisfactorias para asignaturas con una fuerte componente teórica, no lo son tanto en materias donde existe también una fuerte componente práctica a desarrollar en laboratorio, como ocurre con el aprendizaje de Procesadores Digitales de Señal (DSP, Digital Signal Processors) (Felder y otros, 1998; Roppel, 2000; Milliken y Barnes, 2002). A esto hay que añadir otras dos restricciones que suelen aparecer frecuentemente en la enseñanza universitaria:

- El coste en tiempo y dinero requerido para la puesta en marcha de estas enseñanzas de laboratorio es extraordinariamente elevado y, en muchos casos, quedan fuera del alcance de muchas instituciones.
- La masificación de estudiantes en las asignaturas de grado dificulta en gran medida las enseñanzas prácticas y de laboratorio, que normalmente sólo dispone de un espacio limitado y de un número de puestos reducido.

En este contexto, una posible solución consiste en definir y desarrollar herramientas educativas con acceso remoto que den cobertura no sólo a enseñanzas de carácter teórico sino también de carácter práctico y de laboratorio mediante los denominados laboratorios remotos o virtuales. Este tipo de soluciones no pretende en ningún caso sustituir sino complementar la enseñanza presencial (Sánchez y otros, 2002; Guimarães y otros, 2003). En este artículo se presenta en particular una herramienta accesible remotamente a través de Internet que permite el acceso a diferentes elementos didácticos relacionados con los DSPs y sus aplicaciones de laboratorio. Al permitir un acceso asíncrono evita gran parte de los problemas causados por la masificación de estudiantes. El ámbito de laboratorio no queda reducido a las limitaciones físicas del aula ni del puesto físico en el que se sientan los alumnos.

El valor pedagógico de las herramientas informáticas resulta hoy en día incuestionable. Por eso resulta especialmente notoria la ausencia de estudios científicos que validen estas herramientas en cuanto a su capacidad de mejorar el aprendizaje. Frecuentemente se diseñan e implementan numerosas herramientas educativas informáticas, pero raramente se validan. Habitualmente, son dos las aproximaciones sobre la validación de herramientas de e-learning que pueden encontrarse en la literatura:

La primera consiste en un simple cuestionario seguido de un tratamiento estadístico básico. En esta línea se encuentran la mayoría

los trabajos científicos sobre herramientas de e-learning que abordan la cuestión de validación de las mismas. En ocasiones solamente se consideran respuestas de carácter cognitivo (Fuller y Moreno, 2004). Otras veces, se añaden algunas dimensiones relativas a las percepciones de los usuarios. En Abdel-Qader y otros, 2003, la satisfacción global del usuario y la calidad de los materiales son las únicas variables que se tienen en cuenta. Cuestionarios algo más elaborados con un mayor número de dimensiones pueden encontrarse en Chevalier y otros, 2000, Avouris y otros, 2001, Hurley y Lee, 2005. Sin embargo, en todos los casos el tratamiento de los datos se reduce a mostrar la frecuencia de la respuesta de los usuarios.

La segunda de las aproximaciones consiste en cuestionarios más complejos seguidos de un tratamiento estadístico avanzado, normalmente mediante un análisis estadístico multivariante. En este caso existe una clara diferencia respecto a la aproximación anterior: el foco de atención no recae únicamente en el uso, satisfacción o eficiencia de la herramienta, sino también en aquellas variables o dimensiones con una incidencia importante sobre el resultado final, así como en las relaciones causales existentes entre ellas. Algunos intentos en este sentido pueden también encontrarse en la literatura. En Avouris y otros, 2001, se utiliza un cuestionario para comprobar la satisfacción, la efectividad y la calidad de una herramienta de e-learning. Este cuestionario incluye cuestiones relativas a dimensiones específicas como la claridad de la información, facilidad de uso, utilidad, etc. Otras dimensiones específicas pueden encontrarse en Hurley y Lee, 2005, Cappel y Hayen, 2004, Toral y Lee, 2005. En este caso se lleva a cabo un análisis de correlación para extraer algunas conclusiones sobre las relaciones entre las dimensiones consideradas.

Este trabajo se centrará en la validación de la herramienta propuesta siguiendo la segunda de las opciones. Para ello se tomará como punto de partida uno de los modelos más ampliamente utilizado en ciencias sociales dentro de los sistemas de información, como es el modelo de aceptación tecnológica (TAM). Básicamente, trata de modelar cómo los usuarios usan una determinada tecnología. En Selim, 2003, Ngai, 2005, Ong y otros, 2004, TAM es aplicado a una herramienta web y una herramienta de e-learning asincrónico. En el primer caso se usa el modelo TAM original en tanto que en los otros dos se añade alguna dimensión externa.

El artículo se organiza en varias secciones. En primer lugar, se presenta la herramienta de e-learning propuesta así como la asignatura en la cual ha sido aplicada.

A continuación se detalla la metodología utilizada para validar la herramienta. En la sección III se muestra y se valida mediante el alfa de Cronbach el cuestionario empleado. Posteriormente, en la sección IV se propone el modelo final estructural y de medida, que se valida mediante los Modelos de Ecuaciones Estructurales. Las conclusiones y futuras mejor se detallan en la sección final.

II. Descripción de la herramienta web

La titulación de Ingeniería de Telecomunicación lleva impartándose en la Universidad de Sevilla desde el año 1991. Como parte de esta titulación y en el tercer curso, se imparte una asignatura sobre sistemas electrónicos digitales avanzados y DSPs. La ausencia de suficiente trabajo práctico y de laboratorio motivó un cambio posterior de la titulación en 1998, impulsando un incremento de las prácticas en general. Este hecho, junto a la necesidad de mejorar la metodología docente en clases de más de 300 alumnos, fue el detonante del desarrollo de nuevas metodologías docentes basadas en las nuevas tecnologías, aprovechables también para el próximo marco dentro del Espacio Europeo de Educación Superior y de los créditos ECTS (Communique of the Conference of Ministers responsible for Higher Education, 2003, Joint declaration of the European Ministers of Education, 1999), que en breve plazo modificarán profundamente el panorama actual de la educación superior a nivel Europeo.

La asignatura objeto de este estudio se centra en arquitecturas microprocesadores avanzadas, con especial hincapié en los procesadores digitales de señal. La familia de Texas Instruments TMS320C3x fue la elegida para particularizar los conocimientos impartidos y para la realización de las prácticas de laboratorio. Se trata de una familia de DSPs de propósito general de 32 bits en punto flotante suficientemente representativa de las arquitecturas típicas de los procesadores digitales de señal.

Para apoyar la docencia de esta asignatura se desarrolló un portal web para dar soporte a un aprendizaje asincrónico y al trabajo colaborativo. El portal web contempla diferentes escenarios: lecciones teóricas, ejercicios prácticos y prácticas de laboratorio.

Los alumnos que acceden al portal pueden participar en foros y *chat*, descargar material de la asignatura (apuntes y notas de clase), realizar autoevaluaciones, tableros de dudas, notas, etc.

Las Figuras 1 a 4 muestran algunas pantallas del portal.



Figura 1. Pantalla de bienvenida.



Figura 2. Descarga del material de referencia (I).



Figura 3. Descarga del material de referencia (II).



Figura 4. Tablón de dudas.

El contenido multimedia del portal ha sido diseñado con el software Macromedia Director, y puede ser utilizado tanto en sesiones presenciales como no presenciales.

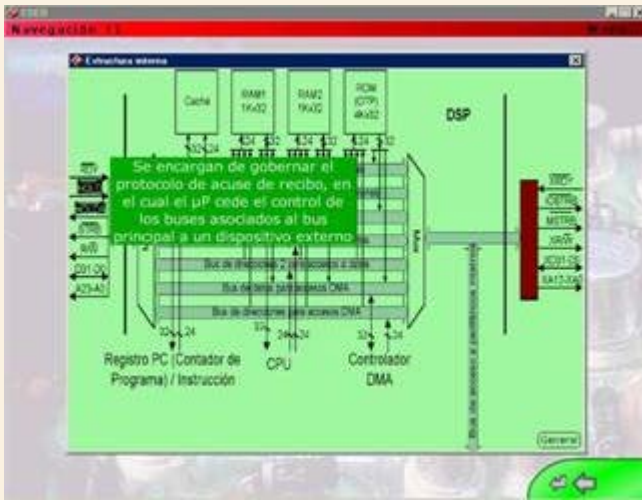


Figura 5. Descripción de la arquitectura interna del TMS320C3X.



Figura 6. Registro de estado del TMS320C3X.



Figura 7. Modo de direccionamiento a registro.



Figura 8. Base de datos de instrucciones.

MacromediaDirector permite el desarrollo de páginas web dinámicas gracias a las técnicas de compresión Shockwave, que requiere que el navegador tenga instalado el Shockwave Player *plug-in* (este *plug-in* se autodetecta y se auto-instala gratuitamente en caso de necesidad).

El contenido multimedia es una mezcla de texto, ilustraciones y video o animaciones que integra conceptos teóricos difícilmente explicables de una manera estática. Las figuras 5 a 8 muestran algunos ejemplos relativos a animaciones que muestran el funcionamiento de la arquitectura interna, la descripción dinámica de registros (al pasar el ratón por cada bit nos muestra su significado), animaciones sobre el funcionamiento de los modos de direccionamiento y una base de datos con las instrucciones del procesador.

Para la resolución de las prácticas se ha integrado un laboratorio remoto que permita el acceso a un puesto de laboratorio real. Este puesto utiliza tres equipos de instrumentación: un osciloscopio **Agilent 54603B**, una fuente de alimentación **Agilent E3631A** y un generador de ondas **Agilent 33220A**. Estos son controlados desde un PC servidor a través de un bus GPIB (*General Purpose Interface Bus*) mediante una tarjeta PCI. Finalmente, la tarjeta con la que se realizan las prácticas, el **DSP Starter Kit** basado en la

familia TMS320C3x, se encuentra también conectada a este PC a través del puerto paralelo. La Figura 9 detalla el esquema.

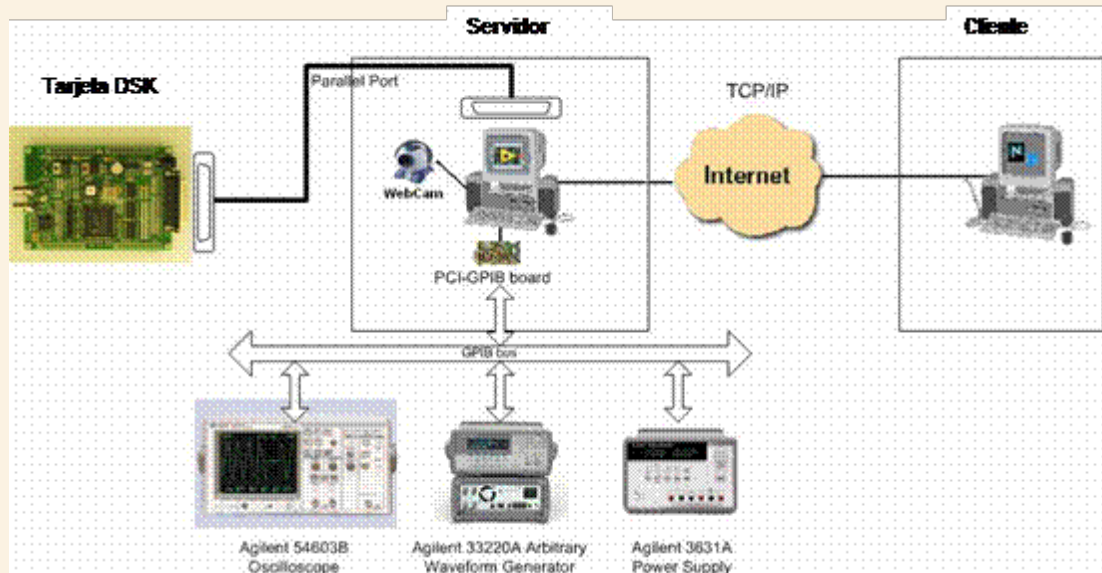


Figura 9. Esquema del laboratorio remoto basado en la tarjeta DSK.

El laboratorio remoto permite el acceso a través de Internet, de modo que los estudiantes pueden descargar programas en la tarjeta y comprobar su funcionamiento mediante los equipos de instrumentación conectados sin las barreras físicas y horarias que impone la clase presencial. Desde el punto de vista software, existe por una parte el lado del programa cliente y el lado del programa servidor, que permite el acceso remoto vía Internet.

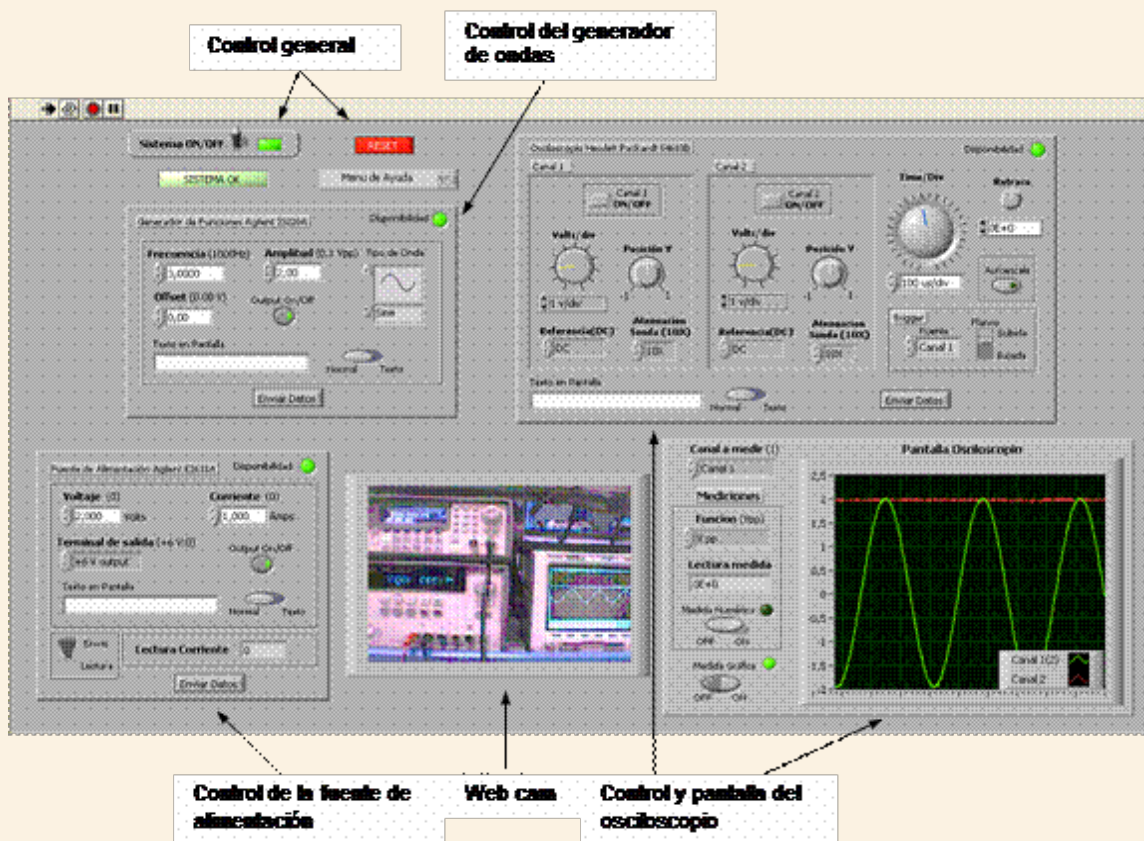


Figura 10. Interfaz gráfica cliente.

La parte cliente consiste en una interfaz EGUI (*Experimentation Graphic User Interface*) diseñada para el control remoto de una laboratorio real mediante *LabVIEW* (entorno de desarrollo gráfico creado por *National Instrument* para aplicaciones de control, medidas o test). La Figura 10 muestra la interfaz gráfica del programa cliente, que permite interactuar con los equipos de instrumentación, descargar programas sobre la tarjeta de desarrollo y obtener medidas de la entrada y la salida analógica de dicha tarjeta. La interfaz gráfica trata de proporcionar a los usuarios exactamente la misma interfaz física real de los equipos que se usan en el laboratorio. La Web-cam de la parte inferior del panel proporciona una vista on-line de los equipos reales controlados remotamente.

III. Validación del cuestionario

La validación de la herramienta descrita en la sección anterior se va a realizar mediante un cuestionario que permita medir las dimensiones del Modelo de Aceptación Tecnológica. Con este modelo se persigue no sólo determinar el uso de la herramienta sino las dimensiones con una especial incidencia en su uso.

El cuestionario se distribuyó entre 142 estudiantes del curso y consiste en 62 preguntas a contestar sobre una escala tipo Likert 1-7 (con el significado de 1: fuertemente en desacuerdo y 7: fuertemente de acuerdo). La Tabla 1 resume los datos estadísticos del estudio.

El cuestionario (detallado en la Tabla 2) define grupos de cuestiones para medir las dimensiones que intervienen en el modelo TAM y que han sido frecuentemente incluidas en la literatura previa: aprendizaje orientado a objetivo, auto-eficacia de la aplicación y disfrute (Yi y Hwang, 2003; Agarwal y Karahanna, 2000), concentración, curiosidad, diversión y voluntariedad (Agarwal y Karahanna, 2000; Hsu y Lu, 2004) y facilidad de uso, utilidad, intención de uso y uso (Davis y Venkatesh, 2004; Laitenberger y Dreyer, 1998; Hubona y Geitz, 1997; Lee y otros, 2003). Las últimas cuatro variables representan el modelo TAM como fue originalmente propuesto por Davis (Davis y Venkatesh, 2004). Todas las demás son las variables externas que pueden tener una influencia significativa en este modelo.

Tabla 1. Ficha técnica del estudio.

Universo	Estudiantes con experiencia en el uso de la herramienta de e-learning
Método de recopilación de información	Encuesta personal
Unidad de muestreo	Estudiantes matriculados en la asignatura
Censo de población	155
Tamaño de muestra	142
Error de muestreo	3.15%
Nivel de confianza	99%, Z=2.58, p=q=0.5
Procedimiento de muestreo	La encuesta estaba dirigida a los estudiantes matriculados en la asignatura
Fecha del estudio	Mayo, 2005

El primer paso consiste en demostrar la fiabilidad del cuestionario propuesto. Es decir, demostrar que ese conjunto de cuestiones siempre suscita respuestas consistentes y fiables, incluso si fueran reemplazadas por otras cuestiones similares. El alfa de Cronbach es un índice de fiabilidad asociado con la variación explicada de la variable subyacente. Mide el grado en el que un conjunto de indicadores miden la variable o constructo latente. La fórmula que permite medir este índice es:

$$\alpha = \frac{N \cdot \bar{r}}{1 + (N - 1) \cdot \bar{r}}$$

donde N es el número de indicadores y \bar{r} es la correlación media entre indicadores. La Tabla 2 muestra el valor de alfa (en la columna de la izquierda, bajo el nombre de la variable entre paréntesis) y la correlación entre indicadores asociada a cada cuestión (en la columna de la derecha, también entre paréntesis). El rango de alfa es un valor entre 0 y 1, de modo que cuanto mayor sea su valor, más fiable resulta la escala generada. Generalmente, un valor por encima de 0.7 puede ser un valor aceptable de fiabilidad aunque umbrales menores se usan a veces en la literatura [35]. El cuestionario validado de la Tabla 2 claramente consigue esta condición para cada variable, que pasa a tener 57 elementos de los 62 de partida.

Tabla 2. Cuestionario validado mediante el alfa de Cronbach

Variable (Fiabilidad)		Item (Correlación item-variable)
Orientación al aprendizaje por objetivo (0.8000)	1	Tengo interés en participar en tareas de las que pueda aprender (0.3580)
	2	Busco con frecuencia oportunidades para desarrollar nuevas habilidades y conocimientos (0.5779)
	3	Disfruto participando en tareas que, aunque sean difíciles, me permiten obtener nuevas habilidades (0.6614)
	4	Desarrollar nuevas habilidades en mi formación es lo suficientemente importante como para dedicarles el tiempo "extra" necesario (0.5495)
	5	Me gusta trabajar en cosas que requieran un alto nivel de habilidad y talento (0.5801)
	6	Me gusta experimentar con nuevas tecnologías (0.6191)
	7	Soy pionero en el uso de nuevas tecnologías entre mi círculo de conocidos (0.3606)
Auto eficacia en la aplicación (0.8390)	1	Poseo la capacidad de acceder a los contenidos de la herramienta(0.3761)
	2	Poseo la capacidad de navegar por los contenidos de la página web según la forma preestablecida (0.5994)
	3	Poseo la capacidad de navegar por los contenidos de la página web siguiendo mi propio camino de navegación (0.4253)
	4	Puedo navegar fácilmente de la parte teórica a la parte práctica y viceversa cuando trabajo con la herramienta (0.4843)
	5	Poseo la capacidad de crear programas para el DSP si dispongo de la herramienta web (0.4164)
	6	Comprendo mejor el examen de prácticas gracias a la herramienta web (0.3690)
	7	Entiendo mejor los modos de direccionamiento con la herramienta web (0.4227)
	8	Soy capaz de programar más fácilmente los periféricos internos del DSP con la herramienta web (0.4780)

	9	Poseo la capacidad de acceder a la base de datos de instrucciones de la herramienta web (0.5995)
	10	Poseo la capacidad de acceder a la base de datos de registros internos (0.6513)
	11	Puedo trabajar con la herramienta web, aunque no haya usado nada parecido anteriormente (0.4284)
	12	Puedo usar la herramienta web sin necesidad de que me expliquen detalladamente su uso (0.4466)
	13	Puedo usar la herramienta web si he visto cómo alguien la usa anteriormente (0.3933)
	14	Puedo usar la herramienta multimedia si dispongo de manuales de ayuda (0.3150)
	15	Puedo usar la herramienta multimedia si dispongo del tiempo suficiente (0.5003)
Disfrute (0.8389)	1	Es divertido usar la herramienta web (0.5340)
	2	El uso de la herramienta web resulta agradable (0.5408)
	3	Encuentro que usar el curso multimedia puede ser una experiencia apasionante (0.5357)
Concentración (0.7369)	1	Cuando uso la herramienta web, puedo bloquear la mayoría de las distracciones a mi alrededor (0.6548)
	2	Cuando uso la herramienta web, me encuentro absorbido por lo que hago (0.8037)
	3	Cuando uso la herramienta web, estoy inmerso en la tarea que estoy desarrollando (0.7703)
	4	Cuando uso la herramienta web, me distraigo fácilmente por otros motivos (0.5626)
Curiosidad (0.7756)	1	El uso de la herramienta web despierta mi curiosidad (0.5344)
	2	La navegación por la herramienta web me vuelve cada vez más curioso (0.7563)
	3	El uso de la herramienta web despierta mi imaginación (0.5579)
Diversión (0.9682)	1	Cuando uso la herramienta web, soy imaginativo (0.8992)
	2	Cuando uso la herramienta web, soy espontáneo (0.8889)
	3	Cuando uso la herramienta web, soy flexible (0.8738)
	4	Cuando uso la herramienta web, soy creativo (0.9058)
	5	Cuando uso la herramienta web, soy original (0.8935)
	6	Cuando uso la herramienta web, soy inventivo (0.9173)
Voluntariedad (0.8157)	1	El uso de la herramienta web es voluntaria (0.6250)
	2	Aunque pueda resultar interesante, el uso de la herramienta web es optativo (0.7058)
	3	Los profesores no obligan a usar la herramienta multimedia (0.6729)
Facilidad de uso (0.9075)	1	Aprender a usar la herramienta web me ha resultado sencillo (0.5892)
	2	Encuentro fácil de utilizar la herramienta web para hacer lo que quiero hacer (0.7220)
	3	Mi interacción con la herramienta web es clara y entendible (0.8187)
	4	Encuentro que la herramienta web es fácil de usar (0.8006)
	5	La interacción con la herramienta web no requiere un gran esfuerzo mental (0.8169)
	6	Es fácil recordar el uso la herramienta web (0.7256)
Utilidad (0.9501)	1	Utilizar la herramienta web mejoraría mi resultado en este curso (0.8423)
	2	Utilizar la herramienta web mejoraría mi aprovechamiento del curso (0.8807)
	3	Utilizar la herramienta web incrementaría mi eficacia en el curso (0.8864)
	4	Encuentro que la herramienta web es de gran utilidad en este curso (0.8662)
	5	Utilizar la herramienta web permitirá acelerar mi aprendizaje (0.8318)
	6	Usar la herramienta web hará más fácil mi aprendizaje (0.7704)
Intención de uso (0.9180)	1	Con frecuencia trato de repasar conceptos usando la herramienta web (0.8485)
	2	Con frecuencia trato de comparar conceptos adquiridos en clase con la visión que se da desde la herramienta web (0.8485)
Uso (0.8403)	1	Indicar cuántas veces por semana utilizo la herramienta web (de media) (0.7247)
	2	Indicar cuántas horas de media por semana uso la herramienta web (0.7247)

IV. Validación del modelo estructural y de medida

A partir del cuestionario anterior se pretende contrastar las siguientes hipótesis:

- H_1 : El disfrute de la herramienta tiene una incidencia positiva sobre la diversión, curiosidad y facilidad de uso.

El disfrute se refiere al grado en el que la actividad de usar la herramienta se percibe como una experiencia divertida, a parte del interés tecnológico que pueda tener esa herramienta. La curiosidad se refiere al grado en el que la experiencia despierta la curiosidad cognitiva y sensorial.

- H_2 : La auto eficacia de la aplicación tiene una incidencia positiva sobre la diversión, curiosidad y facilidad de uso.

La auto eficacia de la aplicación se define como la percepción individual de eficacia al usar la aplicación concreta o el sistema. Las cuestiones asociadas a esta variable tratan de medir la confianza que un individuo tiene sobre su capacidad para desarrollar una determinada tarea.

- H_3 : La diversión usando la herramienta tiene una incidencia positiva sobre la curiosidad.

La diversión está relacionada con una actitud personal cuando se usa la herramienta, y se define como el grado de espontaneidad cognitiva en las interacciones con el sistema.

- H_4 : La curiosidad tiene una incidencia positiva sobre la utilidad.

El resto de las hipótesis a contrastar se refieren a las relaciones típicas entre las variables originales del Modelo de Aceptación Tecnológica: facilidad de uso, utilidad, intención de uso y uso.

Para validar las hipótesis anteriores se va a utilizar PLS (Partial Least Squares) (Chin, 1998). PLS es una extensión de los modelos de regresión lineal múltiple. En su forma más simple, un modelo lineal especifica una relación lineal entre una variable dependiente (el uso de la herramienta) y una serie de variables predictoras (variables externas). El objetivo de PLS consiste en maximizar la varianza explicada por estas relaciones causales. En consecuencia, R^2 y la significación de las relaciones entre las dimensiones o constructos son una medida de cómo se comporta el modelo. El núcleo conceptual de PLS es una combinación iterativa de análisis de componentes principales, que relacionan medidas con constructos, y de análisis *path*, que permite la construcción de un sistema de constructos. Las hipótesis acerca de las relaciones entre las medidas y los constructos o entre los propios constructos se realizan guiadas por la teoría previa. La estimación de los parámetros que representan las medidas y las relaciones *path* tiene lugar mediante técnicas de mínimos cuadrados ordinarios.

Una de las ventajas de PLS como técnica de modelado estructural es que puede trabajar satisfactoriamente con muestras pequeñas. En particular, en el estudio actual la muestra fue de 142, suficiente para PLS.

La Figura 11 (obtenida usando PLS Graph, 3.0, Chin, 2003) muestra el resultado final. La parte derecha de la figura la forman los constructos típicos del modelo TAM básico, mientras que las variables externas se encuentran hacia el lado izquierdo.

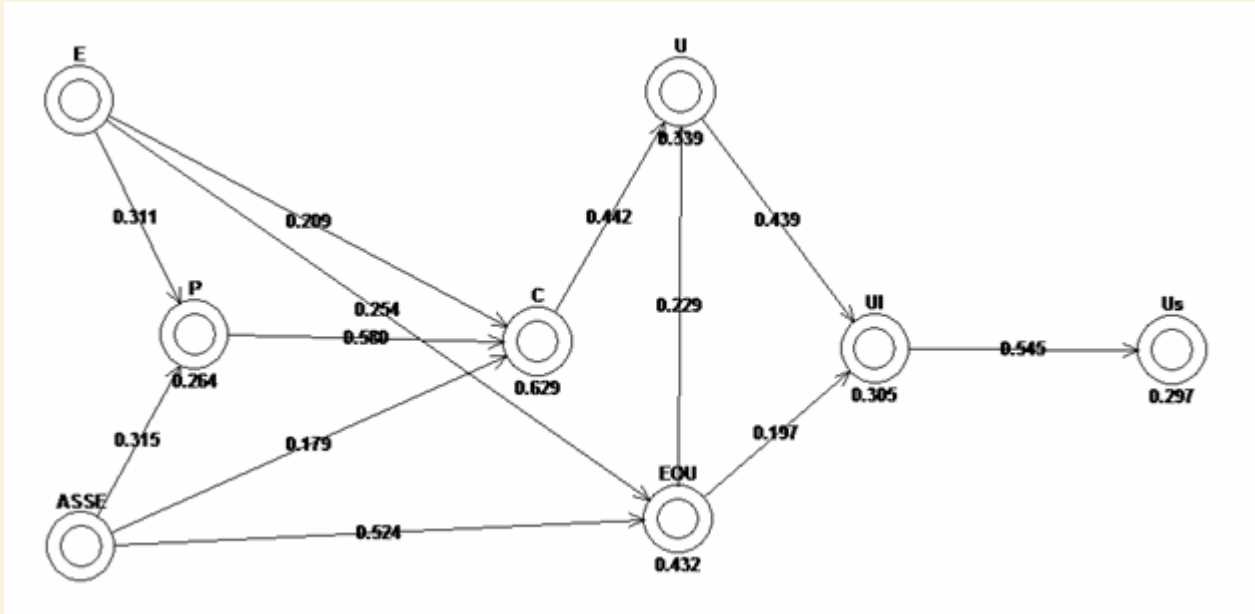


Figura 11. Modelo resultado de PLS.

El valor de R^2 (que aparece en la Figura 11 bajo cada constructo) representa la potencia predictiva en ese constructo explicado a partir de las medidas que representan los constructos antecedentes. Las cargas de los caminos o *path* representan las relaciones causales entre los constructos. Según la Figura 11, cerca del 30% de la varianza del uso de la herramienta puede ser explicada por el modelo, lo que representa un valor aceptable en este tipo de análisis. Los indicadores elegidos para cada constructos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados: indicadores, consistencia y validez

	Indicador	Carga	Consistencia	Validez discriminante							
				ASSE	E	C	P	EOU	U	UI	Us
ASSE	ASSE6	0.7465	0.894	0.793	0.351	0.500	0.425	0.614	0.482	0.476	0.483
	ASSE7	0.8248									
	ASSE8	0.8126									
	ASSE9	0.7841									
	ASSE10	0.7923									
E	E1	0.8884	0.907	0.351	0.875	0.516	0.421	0.432	0.490	0.463	0.397
	E2	0.8752									
	E3	0.8606									
C	C1	0.7757	0.875	0.500	0.516	0.837	0.744	0.441	0.539	0.461	0.396
	C2	0.9146									
	C3	0.8135									
P	P1	0.9473	0.965	0.425	0.421	0.744	0.949	0.347	0.406	0.289	0.295
	P2	0.9622									
	P3	0.9381									
EOU	EOU1	0.7545	0.930	0.614	0.432	0.441	0.347	0.830	0.429	0.386	0.387
	EOU2	0.8399									
	EOU3	0.8928									

	EOU4	0.8502										
	EOU5	0.8607										
	EOU6	0.7704										
U	U1	0.8571	0.956	0.482	0.490	0.539	0.406	0.429	0.885	0.524	0.384	
	U2	0.8949										
	U3	0.8970										
	U4	0.9111										
	U5	0.8853										
	U6	0.8662										
UI	UI1	0.9538	0.953	0.476	0.463	0.461	0.289	0.386	0.524	0.954	0.547	
	UI2	0.9534										
Us	Us1	0.9210	0.926	0.483	0.397	0.396	0.295	0.387	0.384	0.547	0.928	
	Us2	0.9358										

Habitualmente se acepta como válidos aquellos indicadores con una carga igual o superior a 0.7, que implica que existe una mayor varianza compartida entre el constructo y sus medidas que el error en la varianza. Los resultados de la Tabla 3 confirman que, como mínimo, este valor se alcanza en todos los indicadores. La consistencia interna se comprobó usando la fiabilidad compuesta, y los resultados se indican justo en la siguiente columna de la tabla. Todos ellos superan el umbral 0.7.

La validez discriminante se comprobó usando la matriz de correlación de constructos de la Tabla 3. Por motivos de comparación, la diagonal de dicha matriz, que debía ser la unidad, se ha sustituido por la raíz cuadrada de la varianza media extraída (Fornell y Larcker, 1981). Una validez discriminante adecuada supone que los elementos de la diagonal principal deberían ser significativamente mayores que los elementos de fuera de la diagonal principal en las correspondientes filas y columnas (Fornell, 1982), como efectivamente ocurre con los valores de la Tabla 3.

Para validar las relaciones causales del modelo son significativas, se ha realizado un análisis *bootstrap*. Los datos de la Tabla 4 muestran que las relaciones definidas son significativas al nivel $p < 0.01$.

Tabla 4. Coeficientes de las relaciones causales (T-estadístico).

	Us	UI	U	EOU	ASSE	E	C	P
Us	0.000	9.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
UI	0.000	0.000	5.292	2.592	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	3.127	0.000	0.000	6.474	0.000
EOU	0.000	0.000	0.000	0.000	6.165	3.204	0.000	0.000
ASSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C	0.000	0.000	0.000	0.000	2.917	2.804	0.000	8.916
P	0.000	0.000	0.000	0.000	3.904	3.429	0.000	

Los resultados del estudio claramente muestran la importancia de la auto eficacia de la aplicación, la curiosidad, el disfrute y la diversión como variable con una incidencia sobre la decisión de usar una herramienta de e-learning como la descrita. Es importante reseñar que el modelo descrito permite detectar las debilidades de la herramienta. En este caso, se ha detectado que la mejora de los contenidos interactivos y el aprendizaje colaborativo mejorarán el disfrute y la curiosidad de los estudiantes a la hora de usar la herramienta descrita.

Respecto al uso de la herramienta, los resultados obtenidos de la encuesta arrojan los siguientes ratios:

- Porcentaje de estudiantes que han usado la herramienta: $114/142=80.28\%$.
- Uso medio de los contenidos ofertados (sobre 114 estudiantes): 43.8%.

Estos resultados suponen que más de un 80% de los estudiantes han usado los contenidos ofertados, al menos una vez. Respecto a los contenidos ofertados, los más visitados son los que ofrecen una mayor interactividad, como el laboratorio remoto o las bases de datos de instrucciones o modos de direccionamiento.

V. Conclusion

Se ha presentado una herramienta educativa remota relacionada con procesadores digitales de señal. Esta herramienta está pensada como complemento a las sesiones presenciales, tanto teóricas como prácticas. Como principal novedad, permite la realización de prácticas de manera asincrónica, saliendo fuera del ámbito físico de los laboratorios.

A diferencia de herramientas educativas propuestas en la literatura, esta herramienta se ha evaluado siguiendo las variables descritas en los Modelos de Aceptación Tecnológica, que ilustran las variables con una incidencia sobre la decisión de usar una determinada tecnología novedosa.

Para ello se ha diseñado un cuestionario que pretende medir las variables o dimensiones asociadas a los modelos TAM. La fiabilidad del mismo se ha comprobado mediante el alfa de Cronbach.

A partir de este cuestionario, se ha validado un modelo estructural y de medida que soporta las hipótesis planteadas. De él se extraen dos conclusiones importantes. En primer lugar, el uso de la herramienta: más de un 80% de los alumnos han usado aproximadamente el 44% de los contenidos ofertados como media. La segunda conclusión, y más importante, está en las variables que influyen en la decisión de usar la herramienta. Se trata de la conclusión más importante porque es precisamente la que guiará futuras mejoras de la herramienta. Desarrollar herramientas educativas no consiste solamente en ponerlas en marcha, sino también en evaluarla y determinar las futuras mejoras que incidirán en su uso futuro. Por muy buena que sea una herramienta de e-learning, su efectividad será nula si no se traduce en uso real.

En el caso particular de la herramienta presentada, la auto eficacia viene garantizada por la conexión de la herramienta de e-

learning con las sesiones presenciales, pues en ambos casos se trabaja con el mismo procesador y las prácticas remotas son similares a las que se realizan de manera presencial. En cuanto al disfrute, diversión y curiosidad, se propone su mejora mediante la mejora de la interacción del estudiante y el fomento del trabajo colaborativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Abdel-Qader, I. M., Bazuin, B. J., Mousavinezhad, H. S., and Patrick, J. K. (2003). Real-Time Digital Signal Processing in the Undergraduate Curriculum. *IEEE Transactions on Education*, 46, 1, 95-101.

Aedo P., Díaz, P., Fernández, C., Martín, G. M., Berlanga, A. (2000). Assessing the utility of an interactive electronic book for learning the Pascal language. *IEEE Trans. Education*, 43, 3, 403-413.

Agarwal, R., and Karahanna, E. (2000). Time Flies When you're Having Fun Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, 24, 4, 665-694.

Almeida, S. F., Piazzalunga, R., Ribeiro, V. G., Casemiro, M. B., Moreno, R. (2003). Combining interactivity and improved layout while creating educational software for the Web. *Computers & Education*, 40, 271-284.

Avouris, N. M., Tselios, N., Tatakis, E. C. (2001). Development and Evaluation of a Computer-Based Laboratory Teaching Tool. *Computer Applications in Engineering Education*, 9, 1, 8-19.

Bagui, S. (1998). Reasons for increased learning using multimedia. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 7, 3-18.

Cappel, J. J.; Hayen, R. L. (2004). Evaluating E-Learning: A Case Study *Journal of Computer Information Systems*, 44, 4, 49-56.

Carley, L., Khosla, P., Unetich, R. (2000). Teaching 'Introduction to Electrical and Computer Engineering' in context. *Proceedings of the IEEE*, 88, 8-22.

Chevalier, L. R., Craddock, J. N., Riley, P. C., Trunk, B. J. (2000). Interactive Multimedia Labware for Strength of Materials Laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*, 8, 1, 31-37.

Chin, W.W. (1998). The partial least squares approach for structural equation modelling. In G.A. Marcoulides (Ed.). *Modern methods for business research*. Mahwah, NJ, Erlbaum, 295-336.

Chin, W.W. (2003). PLS-Graph (Version 3.00, Build 1058) [Computer software]. University of Houston.

Christian, W., and Belloni, M. (2001). *Physlets: Teaching Physics with Interactive Curricular Material*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Communiqué of the Conference of Ministers responsible for Higher Education. (2003). Realising the European Higher Education Area. Berlin, September 19th.

Conole, G., Dyke, M., Oliver, M., Seale, J. (2004). Mapping pedagogy and tools for effective learning design. *Computers & Education* 43, 17-33.

Davis, F.D., and Venkatesh, V. (2004). Toward Preprototype User Acceptance Testing of New Information Systems: Implications for Software Project Management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51, 1, 31-46.

Felder, R. M., Felder, G. N., Dietz, J. (1998). A longitudinal study of engineering students performance and retention v. comparisons with traditionally-taught students. *Journal of Engineering Education*, 98, 4, 469-480.

Fornell, C. and Larcker, D. F. (1981). Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Errors. *Journal of Marketing Research*, 18, 1, 39-50.

Fornell, C. (1982). *A second Generation of Multivariate Analysis, Methods: Volume 1*. Praeger Publishers, New York, NY.

Fuller, D. A., Moreno, A. F. (2004). Experimenting With a Computer-Mediated Collaborative Interaction Model to Support Engineering Courses. *Computer Applications in Engineering Education*, 12, 3, 175-188.

Guimarães, E., Maffei, A., Pereira, J., Russo, B., Cardoso, E., Bergerman, M., Magalhães, M.F. (2003). REAL: A Virtual Laboratory for Mobile Robot Experiments. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, No. 1, pp.37-42.

Hsu, Chin-Lung and Lu, Hsi-Peng. (2004). Why do people play on-line games? An extended TAM with social influences and flow experience. *Information & Management*, 41, 7, pp. 853-868.

Hubona, G.S., Geitz, S. (1997). External Variables, Beliefs, Attitudes and Information Technology Usage Behavior. *Proc. of the Thirtieth Hawaii International Conference on System Sciences*, 3, 21-28.

Hurley, W. G., and Lee, C. K. (2005). Development, Implementation, and Assessment of a Web-Based Power Electronics Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, 48, 4, 567-573.

Joint declaration of the European Ministers of Education. (1999). The European Higher Education Area. Bologna, June 19th.

Laitenberger, O., Dreyer, H.M. (1998). Evaluating the Usefulness and the Easy of Use of a Web-based Inspection Data Collection Tool. *Proc. 5th Intl. Software Metrics Symposium*, 122-132.

Lee, Y., Kozar, K.A. and Larsen, K.R.T. (2003). The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future. *Communications of the Association for Information Systems*, 12, 752-780.

Metzger, M. J., Flanagina, A. J., Zwarun, L. (2003). College student Web use, perceptions of information credibility, and verification behaviour. *Computers & Education* 41, 271-290.

Milliken, J., Barnes, L. P. (2002). Teaching and technology in higher education: student perceptions and personal reflections. *Computers & Education*, 39, 223-235.

Ngai, E.W.T., Poon, J.K.L., and Chan, Y.H.C. (2005). Empirical examination of the adoption of WebCT using TAM. *Computers & Education*, In Press.

Ong, C.S., Lai, J.Y., and Wang, Y.S. (2004). Factors affecting engineers' acceptance of asynchronous e-learning systems in high-tech companies. *Information & Management*, 41, 6, 795-804.

Pahl, C. (2003). Managing evolution and change in web-based teaching and learning environments. *Computers & Education*, 40, 99-114.

Roppel, T. (2000). An Interdisciplinary Laboratory Sequence in Electrical and Computer Engineering: Curriculum Design and Assessment Results. *IEEE Transaction on Education*, 43, 143-152.

Sánchez, J., Morilla, F., Dormido, S., Aranda, J., Ruipérez, P. (2002). Virtual and Remote Control Labs Using Java: A Quality Approach. *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 8-20.

Selim, H. M. (2003). An empirical investigation of student acceptance of course websites. *Computers & Education* 40, pp. 343-360.

Taylor, R. L., Heer, D., Fiez, T. S. (2003). Using an Integrated Platform for Learning to Reinvent Engineering Education. *IEEE Transaction on Education*, 46, 4, 409-419.

Toral, S.L., Barrero, F., Martínez-Torres, M.R., Gallardo, S., Lillo, J. (2005). Implementation of a Web-Based Educational Tool for Digital Signal Processing Teaching Using the Technological Acceptance Model. *IEEE Transactions on Education*, 48, 4, 632-641.

Wilson, J., Jennings, W. (2000). Studio Courses: How Information Technology is changing the way we teach, on campus and off. *Proceedings of the IEEE*, 88, 72-80.

Yi, M.Y., Hwang, Y. (2003). Predicting the use of web-based Information Systems: Self-efficacy, Enjoyment, Learning goal Orientation, and the Technology Acceptance Model. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, 431-449.