

## Minivideos tutoriales como apoyo al aprendizaje de conceptos básicos para un curso de Fundamentos de Control Automático

Arevalo, V. \*, Vicente-del-Rey, J.M., Garcia-Morales, I., Rivas-Blanco, I.

*Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Málaga, C/Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos. 29071 Málaga, España.*

**To cite this article:** Arevalo, V., Vicente-del-Rey, J.M., Garcia-Morales, I., Rivas-Blanco, I., 2020. Minivideos tutoriales to reinforce the learning of basic concepts for an Automatic Control course. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 17, 107-115. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12156>

### Resumen

En este trabajo se presenta una iniciativa encaminada a introducir y fomentar el uso de los videotutoriales como herramienta de apoyo para el aprendizaje de los conceptos básicos del control automático en titulaciones universitarias técnicas. Los contenidos desarrollados, disponibles en el canal de YouTube denominado “Automática”, se han agrupado de acuerdo a los principales bloques conceptuales de la materia y han sido puestos a disposición del alumnado en el espacio del campus virtual de la Universidad de Málaga (UMA) asociado a 13 asignaturas impartidas por el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UMA en los cursos académicos 2017/2018 y 2018/2019. Los resultados obtenidos a través de encuestas de opinión cumplimentadas por los estudiantes muestran la buena acogida de los mismos. Por otro lado, el cruce de los datos de uso (entendido como tiempo efectivo de reproducción) recogidos durante este periodo y las calificaciones obtenidas a través de pruebas de conocimiento diseñadas *ad-hoc* revelan la existencia de una relación entre el empleo del material desarrollado y la mejora del rendimiento académico de los estudiantes.

*Palabras Clave:* Educación en control, herramientas docentes, teoría de control automático, sistemas de control lineal, e-learning.

### Minivideos tutorials to reinforce the learning of basic concepts for an Automatic Control course.

### Abstract

This work proposes an initiative to introduce and promote the use of screencasts as a supporting tool for learning basic concepts of automatic control in technical University Degrees. The contents developed are available in the YouTube channel named “Automatica”, grouped by conceptual blocks. This material has been shared with the students of the University of Malaga through the Virtual Campus of 13 subjects taught by the Department of Systems Engineering and Automation during the academic courses 2017/2018 and 2018/2019. The results derived from opinion surveys taken by the students show the good acceptance of this type of material. On the other hand, the cross-referring data between the effective reproduction time and the students’ qualifications in knowledge tests designed *ad-hoc* reveal a direct relation between the time employed by the students watching the screencasts and an improvement in their academic performance.

*Keywords:* Control education, teaching tools, automatic control theory, linear control systems, e-learning.

## 1. Introducción

La puesta en marcha del Espacio Europeo de Educación Superior en el año 2010 trajo consigo, no solo una homogeneización de los estudios universitarios a nivel

europeo, sino que también planteó la necesidad de que el estudiante tomara un papel más activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Desde entonces, su rol ha evolucionado desde un mero receptor de información, en las tradicionales lecciones magistrales, a ser más protagonista en

su aprendizaje. Esto ha llevado al profesorado universitario a poner en práctica nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje, algunas de las cuales se apoyan en las TICs. El interés en estas nuevas formas de abordar la enseñanza universitaria sigue creciendo, como demuestra el gran número de investigaciones publicadas en este área en los últimos años (Saeed and Sinnappan, 2009), (Sadaf *et al.*, 2012), (Pandini *et al.*, 2017), (Sligar *et al.*, 2017).

Por otro lado, son muchas las iniciativas en el campo de la innovación educativa que han pretendido y pretenden facilitar a los estudiantes el aprendizaje de ciertos conceptos: nuevas metodologías, tales como el aprendizaje basado en problemas (Hambali *et al.*, 2015), (Barreto and dos Santos, 2018), (Jevremovic *et al.*, 2017), (Arevalo and Gonzalez, 2011), las clases invertidas (Li *et al.*, 2016), (Toner and King, 2016), el aprendizaje colaborativo (Willey, 2016), (Hayashi *et al.*, 2015) y nuevas herramientas tales como los laboratorios remotos (Vargas *et al.*, 2012), (Santana *et al.*, 2010), los cursos masivos online, también conocidos como MOOCs (Yue and Rue, 2017), (Kuntz *et al.*, 2018), (Gonçalves and Gonçalves, 2019), o los recursos multimedia (en forma de clases grabadas, videotutoriales interactivos con Wink, etc.) de libre disposición (Arevalo and Vicente del Rey, 2019), (Aguilar, 2012).

La explicación de conceptos de una materia a través de vídeos tutoriales es una herramienta que está generando un gran contenido multimedia disponible en plataformas tales como YouTube, Vimeo o DailyMotion. Los estudios realizados sobre las ventajas del uso de este tipo de recursos corroboran que los videotutoriales facilitan el aprendizaje autónomo y la atención personalizada, permitiendo que cada estudiante pueda avanzar en los contenidos a su propio ritmo, facilitando un aprendizaje significativo de estos (Rodenas, 2012). Sin embargo, dichos estudios también demuestran que, por lo general, los estudiantes, pese a estar muy receptivos ante el uso de las TICs como refuerzo a los contenidos explicados en clase, no son partidarios de eliminar el flujo de información directo por parte del profesorado que se produce en la asistencia presencial a las clases y las tutorías (Jimenez and Marín, 2012). Así, el uso de este tipo de herramientas resulta de gran utilidad para reforzar el estudio de aquel contenido impartido en clase que presenta mayor dificultad de asimilación por parte de los estudiantes.

Este trabajo pretende aplicar estas consideraciones en el campo del control automático, cuyos conceptos básicos, que son impartidos de forma transversal en todos los estudios conducentes a titulaciones técnicas de grado y máster, históricamente, tienen una gran complejidad para los estudiantes. Por otra parte, los contenidos impartidos en las correspondientes asignaturas resultan idóneos para la generación de videotutoriales de corta duración que aborden conceptos muy concretos relacionados con la Automática básica.

Son muchas las iniciativas en el campo de la innovación educativa que han pretendido y pretenden facilitar al alumno el aprendizaje de conceptos relacionados con esta materia. Entre ellas cabe citar la generación de material multimedia, en forma de vídeos docentes, en los que un profesor o profesora realiza una explicación oral grabada sobre un concepto concreto (UPV, 2011), (Douglas, 2012), o bien se resuelve un ejercicio determinado sobre papel o pizarra que se acompaña de una explicación realizada con voz en off (Aguilar, 2012), o

bien se presentan lecciones completas grabadas directamente en las aulas (IITR, 2018), (METUOpenCourseWare, 2017).

El problema que presenta este tipo de materiales, de una duración que en ocasiones puede llegar a una hora, es que, por norma general, resulta ser una herramienta de aprendizaje que a los estudiantes les parece monótona, por lo que suelen desistir antes de llegar al final de los vídeos. Además, en numerosas ocasiones, los estudiantes buscan, dentro de estos vídeos, aquel fragmento que corresponde a un concepto concreto o a una parte muy determinada dentro de la resolución de un ejercicio, lo que conlleva un tiempo adicional de búsqueda y filtrado de contenidos. Esta afirmación se apoya en una serie de encuestas de opinión que los autores de este artículo han realizado entre sus alumnos y alumnas de las asignaturas relacionadas con el control automático de los diferentes grados ofertados en la Escuela de Ingenierías de la UMA. Más del 80% de los estudiantes encuestados manifestaron que habían visionado vídeos en YouTube para resolver dudas relacionadas con su asignatura, mientras que el libro de texto quedaba relegado a la tercera posición, después de los compañeros y compañeras. Además, los estudiantes señalaron, entre otras cuestiones, que la duración de los vídeos era, en general, excesiva, y que abordaban más contenido del que realmente necesitaban y en muchas ocasiones no trataban el concepto concreto sobre el que pretendían resolver dudas, pese al título de los mismos. Otros de los inconvenientes que afectan a muchos contenidos disponibles en Internet son, además de la duración de los mismos, que presentan un enfoque poco centrado en los problemas reales de los alumnos y poseen un formato poco homogéneo, con falta de organización, y en muchas ocasiones, con poco rigor científico y técnico en la exposición de algunos contenidos.

En resumen, la visualización de vídeos como herramienta para el apoyo no presencial de los estudiantes es una estrategia muy interesante siempre que el formato y el contenido sean correctos y atractivos y que la duración sea la adecuada para conseguir mantener la atención del alumno.

Los vídeos que aquí se presentan, de una duración media en torno a los 6 minutos, abordan conceptos básicos de control automático. Parte de ellos presentan conceptos teóricos, otros resuelven ejercicios tipo de forma analítica o mediante software específico, como MATLAB. Asimismo, algunos vídeos muestran ejemplos de sistemas reales en los que se plantea la relación existente entre la teoría y la práctica.

Estos vídeos son puestos a disposición del alumnado a través de un canal temático en YouTube denominado "Automática" (Arevalo y Vicente del Rey, 2019) y el acceso a ellos se puede hacer mediante una búsqueda por palabras clave o mediante listas de reproducción (itinerarios) organizadas por temas, asignatura, software utilizado, etc. Este formato permite, además, que cualquier docente pueda diseñar sus propias listas de reproducción de acuerdo a las necesidades de la asignatura impartida, incluyendo o excluyendo ciertos conceptos, ejercicios o prácticas según sus necesidades particulares.

Los contenidos multimedia que se describen en el presente documento son el fruto de un importante trabajo de campo realizado en las asignaturas en las que se presentan los conceptos básicos de control automático y de cuya docencia es responsable el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UMA (el Dpto. de aquí en adelante). Este trabajo de campo ha tratado, por un lado, de identificar qué

conceptos, de los impartidos en estas asignaturas, les resultan más difíciles de asimilar al alumnado, generan más dudas (de una forma generalizada) o exigen un mayor número de ejemplos y/o problemas para su comprensión, y, por otro, de aportar herramientas que faciliten su aprendizaje.

El resto de este artículo se organiza en la forma que se indica a continuación: la sección siguiente trata de justificar el uso de videotutoriales en el aprendizaje de los conceptos básicos de control automático; en la sección 3 se describe el proceso de preparación, diseño y publicación de los contenidos desarrollados; en la sección 4 se detalla el proceso de recogida y tratamiento de información mientras que en la sección 5 se muestran los resultados obtenidos en los cursos académicos 2017/2018 y 2018/2019; por último, en la sección 6, se presentan las conclusiones finales de este trabajo y se comentan ciertos aspectos en los que se pretende seguir avanzando.

## 2. Contexto del trabajo

El aprendizaje de los conceptos básicos del control automático es fundamental en la formación de cualquier ingeniero, de ahí que la práctica totalidad de las titulaciones técnicas cuenten con una o varias asignaturas vinculadas con esta materia. En la tabla 1 se muestran algunos datos de interés sobre las asignaturas que abordan contenidos básicos relacionados con el control automático que son impartidas por el Dpto. en las distintas titulaciones ofertadas por la UMA, entre las cuales destaca el elevado número de alumnos matriculados en las mismas en el curso académico 2018/2019. La cantidad de asignaturas consideradas y el volumen de alumnos matriculados en ellas (un total de 1132 en el curso académico indicado) dan una idea de la importancia que se le da al estudio de esta materia en las titulaciones técnicas.

Tabla 1. Asignaturas impartidas por el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UMA en las que se imparten conceptos básicos relacionados con el control automático. Asimismo, se muestra información sobre los centros y titulaciones en los que se imparten dichas asignaturas y el número total de alumnos matriculados.

Curso académico 2018/2019	
Asignaturas	13
Centros	3
Titulaciones	13
Media alumnos/asignatura	87
Alumnos matriculados	1132

El objetivo principal de estas asignaturas es lograr que el alumno conozca y aprenda los conceptos básicos de los sistemas de control automático. El estudio de este tipo de sistemas que se realiza en ellas tiene su punto de partida en la determinación de un modelo matemático del proceso que se pretende controlar, continúa con el análisis de sus características temporales y frecuenciales, y culmina con el aprendizaje de las técnicas clásicas de diseño de sistemas de control. La profundidad con la que se abordan estos conceptos varía en función de la titulación y el curso en que se ubica cada una de estas asignaturas, pero son numerosos los bloques conceptuales que comparten.

Por otra parte, la importante carga teórico-práctica de estas asignaturas, la amplitud de conceptos que involucran, las estrechas relaciones existentes entre ellos que impiden el aprendizaje de unos si aún no se han adquirido muchos otros, la necesidad de utilizar herramientas informáticas que facilitan la resolución de determinados problemas, etc. son cuestiones que tradicionalmente plantean dificultades a los alumnos. Ante esta situación, han sido muchas las iniciativas puestas en marcha en el departamento de la UMA ya referido que estaban destinadas a facilitar el aprendizaje de estos contenidos; sin embargo, han tenido relativamente poco éxito.

A raíz de la implantación de los nuevos planes de estudio de grado, el profesorado del Dpto., responsable de la docencia de las asignaturas consideradas en la tabla 1, vio la necesidad de homogeneizar los conceptos teórico-prácticos impartidos y perfeccionar el proceso de enseñanza-aprendizaje con el fin de mejorar los resultados académicos. A consecuencia de ello, se introdujeron bastantes cambios metodológicos en la docencia de estas asignaturas: tutorías grupales, realización de trabajos académicos a lo largo del curso, incentivación de la participación en clase del alumno, creación/gestión de foros, redacción y publicación de FAQs, etc. Sin embargo, pese a los cambios metodológicos introducidos, no se produjo tanta mejoría en los resultados académicos como cabría esperar.

A la vista de estos resultados, se llegó a la conclusión de que existen problemas de fondo, no relacionados directamente con las estrategias de enseñanza-aprendizaje utilizadas, que impiden que el alumnado asimile los fundamentos necesarios para construir adecuadamente sus conocimientos. Esta problemática se ha tratado de analizar en detalle, identificándose las siguientes posibles causas:

1. La dificultad intrínseca de los conceptos que se abordan.
2. El insuficiente tiempo disponible para plantear y solucionar problemas en clase.
3. La dificultad del alumno para entender y asimilar los conceptos al ritmo en que se imparten.
4. La imposibilidad de abordar en las sesiones prácticas todos los conceptos explicados en las sesiones de teoría.
5. La dificultad del alumno para distinguir, pese al esfuerzo de los profesores, lo que es relevante de lo que no lo es.
6. Se han percibido cambios en el modo en que los alumnos esperan que se les comunique la información.

Resulta inviable hacer frente a la totalidad de los problemas arriba mencionados, pero sí es posible abordar la solución de algunos de ellos con el fin de minimizar su influencia en el rendimiento del estudiante. En particular, se pueden crear nuevos contenidos didácticos que permitan atacar los problemas asociados a las causas 1, 2, 3 y 5 y hacerlo con herramientas que resulten atractivas para el estudiante (causa 6). Una de estas herramientas es, en opinión de los autores, el videotutorial.

El empleo de videotutoriales puede reforzar el aprendizaje presencial del alumno y mejorar su rendimiento académico (Rodenas, 2012). Esta creencia se justifica, en primer lugar, en la consideración de que esta herramienta puede hacer más atractivo el aprendizaje y, por tanto, propiciar el interés del alumno por el mismo; en segundo lugar, en que el alumno puede visionarlo en ausencia del profesor y esto habilita, por su flexibilidad y posibilidad de repetición de actuaciones (es posible parar y revisar los vídeos tantas veces como se quiera),

que cada alumno pueda tener un mayor control de su proceso de aprendizaje al poder elegir su propio ritmo de seguimiento y asimilación de contenidos en función de su capacidad y circunstancias personales.

### 3. Diseño, creación y distribución de los videotutoriales

En Internet hay multitud de vídeos que abordan aspectos relacionados con el control automático; sin embargo, lo hacen de forma aislada, sin organización alguna, sin un enfoque práctico y sin ejemplos resueltos con software específico como la Control System Toolbox de MATLAB (herramienta de referencia en esta área de conocimiento) y, lo que es más problemático, sin el suficiente rigor científico-técnico.

En este trabajo se ha puesto especial atención tanto en la presentación (el formato, el diseño de contenidos, la herramienta de creación) como en el fondo, abordando gran parte de los conceptos que se imparten en las asignaturas indicadas y aportando, cuando procede, ejemplos teórico-prácticos resueltos con herramientas informáticas adecuadas. Y todo ello se ha ejecutado con un estilo homogéneo y bajo la apariencia de un canal temático.

Estas cuestiones suponen la principal contribución de este trabajo en relación a todo el material análogo que es posible encontrar en Internet.

#### 3.1. Identificación de los contenidos a tratar

Los conceptos básicos relativos al control de sistemas tratados en los vídeos han sido seleccionados tomando como punto de partida la experiencia de los autores, así como la realimentación aportada por los propios estudiantes, y teniendo en cuenta los objetivos que se relacionan a continuación:

- Cubrir las carencias detectadas a partir del estudio de las calificaciones obtenidas por los estudiantes en evaluaciones previas en cada uno de los bloques conceptuales asociados a los Fundamentos de Control Automático.
- Plantear y resolver ejercicios prácticos empleando tanto procedimientos analíticos como herramientas informáticas. Se pretende que estos sean una alternativa a los ejercicios tipo que se realizan en clase.
- Mostrar experiencias de laboratorio que no da tiempo a desarrollar en suficiente profundidad en las sesiones prácticas de clase.
- Tener en cuenta las sugerencias planteadas por los propios alumnos a través de encuestas realizadas mediante el espacio del campus virtual asociado a las asignaturas consideradas.

A continuación, se presenta una relación de los bloques conceptuales considerados y un resumen de los temas tratados en los vídeos vinculados con cada uno de ellos:

- a. Descripción externa e interna de sistemas:
  - Creación y empleo de modelos con MATLAB.
  - Reducción de diagramas de bloques empleando MATLAB o reglas del álgebra de bloques.
- b. Modelado de sistemas dinámicos:
  - Modelado de circuitos eléctricos y electrónicos.
    - Modelado de circuitos con componentes básicos (resistencia, bobina y condensador).

- Modelado de circuitos con amplificadores operacionales ideales.
  - Utilización de impedancias complejas.
- c. Respuesta temporal de sistemas lineales e invariantes en el tiempo:
    - Obtención de la respuesta temporal de un sistema empleando MATLAB o procedimientos analíticos.
    - Determinación de parámetros característicos de la respuesta transitoria de un sistema.
    - Estudio del efecto de la adición de un polo o un cero a un sistema de segundo orden.
    - Obtención de la respuesta temporal de un circuito eléctrico (experiencias de laboratorio).
    - Estudio de la relación existente entre las características de la respuesta transitoria de un sistema y la ubicación de sus polos.
    - Identificación de sistemas a partir de su respuesta temporal.
    - Análisis de la estabilidad absoluta de un sistema. Criterio de Routh.
  - d. El lugar de las raíces de un sistema realimentado.
    - Trazado de un lugar de las raíces.
  - e. Respuesta en frecuencia de sistemas lineales e invariantes en el tiempo:
    - Trazado del diagrama de Bode de un sistema.
    - Análisis de la respuesta frecuencial de un sistema empleando MATLAB.
    - Obtención de la respuesta frecuencial de un circuito eléctrico (experiencias de laboratorio).
    - Análisis de estabilidad de un sistema realimentado a partir del diagrama de Bode.
  - f. Introducción al diseño de sistemas de control.
    - Compensación proporcional a partir del lugar de las raíces empleando MATLAB.
    - Compensación proporcional en el dominio de la frecuencia empleando MATLAB.
  - g. Introducción a la automatización industrial.
    - Nociones básicas sobre el GRAFCET.

#### 3.2. Preparación y creación de los contenidos

Esta fase supone el núcleo central del trabajo y consiste, fundamentalmente, en la elaboración de los contenidos relacionados con los bloques conceptuales descritos en la sección 3.1. Las tareas llevadas a cabo son las siguientes:

1. Desarrollo de los guiones. Los contenidos elaborados cubren, además de los aspectos básicos del control automático identificados en el punto 1, ejemplos teórico-prácticos y resolución de problemas en ordenador utilizando MATLAB. Asimismo, se ha procurado que la duración de los videotutoriales no exceda los 5-10 minutos, ya que una duración excesiva podría provocar desinterés en el alumnado.
2. Creación de los contenidos multimedia. Para la edición de contenidos se ha empleado VideoScribe (Sparkol, 2017), una herramienta de edición que permite la creación de contenidos atractivos, modernos y amenos. A la hora de elegir la herramienta, se ha tenido en cuenta su facilidad de uso, el coste de la licencia y los recursos disponibles.

A lo largo de los tres años que lleva desarrollándose este proyecto, se han realizado 52 vídeos tutoriales con una

duración media de aproximadamente 6 minutos. Por otra parte, el tiempo que ha sido necesario invertir para crear cada vídeo ha estado comprendido entre 20 y 30 horas.

### 3.3. Publicación y difusión de los contenidos

Desarrollar contenidos docentes de calidad es importante, pero no sirve de nada si no se hacen llegar a los estudiantes de la manera más eficaz posible. Por otra parte, tan importante como su distribución es la organización de los mismos, dado que, una organización no coherente, podría propiciar que el alumno se despiste a la hora de emplearlos. En este sentido se han tomado las siguientes decisiones:

1. Plataforma de alojamiento web. Para el alojamiento de los videotutoriales se ha optado por YouTube (están accesibles a través de <https://automatica.uma.es>). Esta plataforma cuenta con herramientas sociales, moderación de comentarios, estadísticas, etc. y, además, es gratuita.
2. Organización de los contenidos. Los vídeos se han agrupado según su temática mediante listas de reproducción según los bloques conceptuales identificados en la sección 3.1. Adicionalmente, se han organizado listas de reproducción alternativas (itinerarios) para dirigir a los alumnos de una determinada titulación a videotutoriales específicos en los que se abordan conceptos no impartidos en otras titulaciones. De esta forma, por ejemplo, las listas correspondientes al bloque “Descripción externa de sistemas” no son exactamente las mismas para los alumnos de una titulación que para los alumnos de otra.
3. Difusión de los videotutoriales. Para dar a conocer al alumnado los contenidos elaborados, se ha optado por publicar, en los espacios virtuales de cada asignatura, avisos y enlaces (links), tanto para los videotutoriales como para las listas de reproducción. Esto ha aportado una ventaja doble, pues ha permitido publicitar los videotutoriales de forma ordenada y de acuerdo con la evolución de las clases presenciales y, simultáneamente, realizar un seguimiento posterior del empleo de los mismos por parte de los estudiantes a partir una aplicación web desarrollada ex-profeso para esta tarea.

## 4. Metodología

Los objetivos que se han planteado los autores con este trabajo son, por un lado, determinar si los vídeos les resultan de utilidad a los estudiantes, lo que conllevaría una mejora en sus calificaciones; y por otro lado, conocer el empleo hacen los alumnos de los vídeos publicados, con el fin de detectar posibles problemas en el diseño de los mismos. Con este propósito, se ha realizado una recogida de datos para el posterior procesamiento de los mismos.

### 4.1. Recogida de datos

El desarrollo y publicación de los contenidos elaborados se inició el curso académico 2016/2017 y no ha sido hasta el curso académico 2017/2018 cuando se han puesto a disposición del alumnado en un total de 13 asignaturas (véase la Tabla 1). Los datos recabados a partir de dicho momento para la realización de este estudio provienen de tres fuentes:

1. Encuestas de opinión dirigidas a conocer el grado de satisfacción del alumno después de visualizar cada vídeo. El objetivo de estas encuestas es, fundamentalmente, determinar si el vídeo en cuestión logra el objetivo para que el que ha sido diseñado, mediante preguntas como si las explicaciones resuelven la duda; si es claro en las explicaciones; si la duración es la apropiada; si el ritmo es el adecuado, etc. Estas encuestas están a disposición de los alumnos en cualquier momento.
2. Datos de reproducción de los vídeos. Aprovechando las facilidades que proporciona la API de YouTube se han recolectado datos sobre el uso que hace cada alumno del vídeo que está visualizando. El aspecto que se pretende analizar con esta información es el tiempo efectivo de reproducción (i.e. porcentaje del vídeo que ha visto el alumno).
3. Datos relativos a las calificaciones del alumnado. Esta información proviene de una serie de pruebas de conocimiento diseñadas *ad-hoc* a las que se somete a los estudiantes a través del Campus Virtual de la UMA.

Para la recolecta de datos se ha desarrollado una aplicación web encargada de presentar el vídeo, realizar las encuestas (punto 1) y llevar a cabo un seguimiento del uso que hace el alumno del vídeo (punto 2). También se ha habilitado un formulario en dicha aplicación con la intención de que el alumno pudiera notificar los errores detectados en el vídeo. La Figura 1 muestra una captura de la aplicación web desarrollada, en la que se puede apreciar el reproductor de vídeos de YouTube y una serie de enlaces destinados a abrir la encuesta sobre el vídeo en curso o enviar algún comentario o sugerencia.

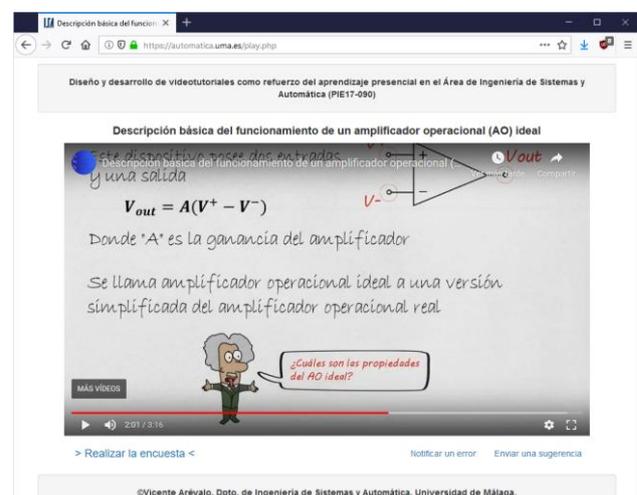


Figura 1: Captura de la aplicación web desarrollada para la reproducción de los contenidos. Dicha aplicación web embebe un reproductor de YouTube y captura eventos relacionados con la reproducción del vídeo. Adicionalmente, la ventana muestra una serie de *links*, a través de los cuales, el alumno puede realizar la encuesta y/o notificar algún error.

### 4.2. Procesado de datos

El estudio de este trabajo se ha realizado en tres asignaturas obligatorias de diferentes titulaciones de grado que comparten el mismo equipo docente en los cursos académicos 2017/2018 y 2018/2019, lo que facilita la coordinación en cuanto a temporización y evaluación de los conocimientos. De las

asignaturas consideradas, una de ellas se imparte en el primer semestre (unos 60 estudiantes por curso) y las otras dos, en el segundo (aproximadamente 280 alumnos por curso). Como se ha comentado anteriormente, para concentrar las reproducciones en la aplicación web desarrollada y evitar que los alumnos accedan a los contenidos directamente a través de YouTube se incluyeron enlaces a los vídeos agrupados por categorías en los espacios virtuales de cada asignatura.

Para cruzar los datos de uso de los videotutoriales con las calificaciones obtenidas por los alumnos en las pruebas de evaluación utilizadas en el estudio, se han establecido una serie de categorías (i.e. conceptos básicos) destinadas a vincular las cuestiones evaluadas en cada prueba con los videotutoriales en los que se tratan aspectos relacionados con las mismas. En la tabla 2 se enumeran las categorías establecidas por los autores para el estudio, que como se puede observar, abarcan conceptos básicos del control automático.

Tabla 2. Conceptos básicos relacionados con el control automático considerados en el estudio.

Categoría / Concepto básico
Modelado de sistemas eléctricos y electrónicos
Transformada directa de Laplace
Transformada inversa de Laplace
Función de transferencia
Reducción de diagramas de bloques
Aspectos generales de la respuesta temporal de sistemas
Respuesta transitoria de sistemas de primer orden
Respuesta transitoria de sistemas de segundo orden
Respuesta transitoria de sistemas de orden superior
Estabilidad de sistemas. Método de Routh
Errores en régimen permanente
Generalidades de la respuesta frecuencial
Diagramas de Bode
Compensación prop. en el dominio de la frecuencia
Trazado un lugar de las raíces
Compensación prop. basada en el lugar de las raíces

Por otro lado, la gestión de tal volumen de información ha requerido el diseño e implementación de una base de datos relacional (RDDBB) que admita operaciones de consulta complejas, estadísticas, copia de seguridad, etc. Para ello se ha recurrido al gestor de BBDD de código abierto MariaDB.

## 5. Análisis de resultados

El análisis de los resultados obtenidos a partir de los datos recogidos aborda tres cuestiones fundamentales: por un lado, la percepción subjetiva de los estudiantes sobre la herramienta facilitada a través de las encuestas realizadas; por otro lado, el alcance que ha tenido la visualización de los vídeos para el estudio de la asignatura; y finalmente cómo el empleo de los vídeos contribuye a la mejora de las calificaciones en la materia.

### 5.1. Encuestas al alumnado

Las encuestas puestas a disposición del alumnado han sido concebidas con la intención de conocer su opinión y tener la oportunidad de detectar y subsanar las deficiencias que

podieran haber sido observadas en el empleo de los videotutoriales. Dichas encuestas recogen preguntas sobre la valoración general del conjunto de vídeos disponibles, la utilidad de los vídeos para superar la asignatura, la calidad de la imagen, el atractivo visual y dinamismo. También incluyen preguntas sobre la duración de los vídeos (si era adecuada o no) y sobre si los recomendarían a otros alumnos.

El análisis de los resultados obtenidos, tras la cumplimentación de más de 750 encuestas, muestra un grado de satisfacción del alumnado muy alto, sobrepasando, en la mayoría de los aspectos analizados, el nivel 4.5 en una escala de Likert del 1 (pésimo) al 5 (excelente) (véase la Figura 2). Por otro lado, la práctica totalidad de los alumnos han manifestado que recomendarían los vídeos a sus compañeros y que, en general, la duración de los vídeos les había parecido adecuada.

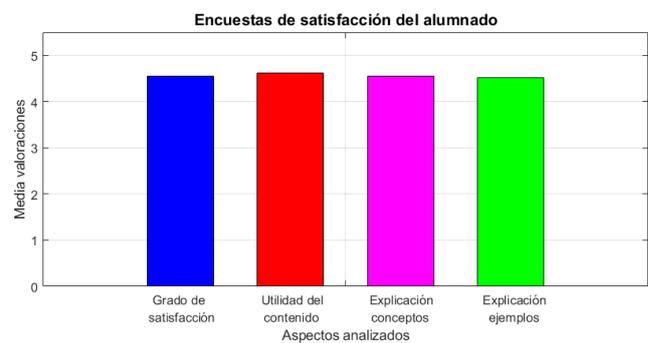


Figura 2. Resumen de los resultados obtenidos en las encuestas de satisfacción realizadas (1 pésimo; 5 excelente).

Asimismo, las encuestas incluyen un apartado de texto libre para que los alumnos puedan informar sobre errores detectados, añadir sus comentarios, realizar sugerencias, etc.

En el análisis de dicho apartado se ha detectado que se repiten las siguientes peticiones y sugerencias: incluir en el vídeo un mayor número de ejercicios; emplear palabras clave en las explicaciones y sintetizar algunas de ellas y, finalmente, elaborar y publicar un mayor número de vídeos. La información proporcionada por este apartado ha permitido corregir algunos de los vídeos publicados y trabajar en los nuevos videotutoriales teniendo en mente dichas mejoras/sugerencias.

### 5.2. Alcance de los videotutoriales

Un indicativo importante a la hora de evaluar la repercusión de los contenidos realizados sobre el alumnado lo constituye el número de accesos y de reproducciones que han tenido los vídeos a lo largo del tiempo evaluado. En este sentido, se ha considerado que el estudiante ha accedido a un vídeo si ha pulsado su enlace, independientemente de si lo ha visualizado por completo o no. Por otro lado, un vídeo se supone que ha sido reproducido si al menos se ha llegado al 75% de su duración.

La Figura 3 recoge los accesos y reproducciones realizadas únicamente a través de la aplicación web desarrollada para garantizar que son efectuados solo por los estudiantes de las asignaturas consideradas en este estudio. En esta gráfica cabe destacar el elevado número de accesos, llegando a más de 3500 en determinados periodos de tiempo, lo que da una idea de la buena acogida de los materiales, y cómo el mayor número de

reproducciones coinciden con las convocatorias ordinarias y extraordinarias de exámenes de las asignaturas (junio, septiembre y febrero).

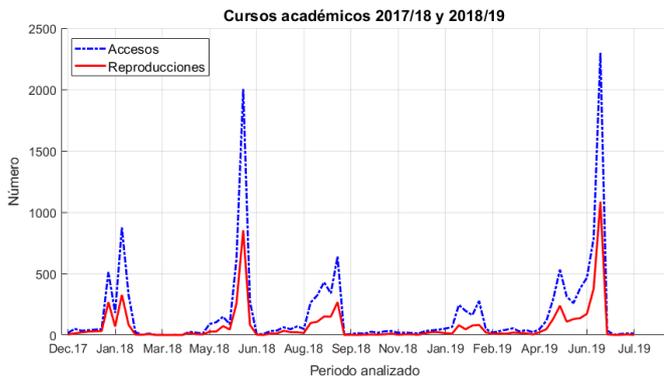


Figura 3: Número de accesos y reproducciones contabilizados a lo largo de los cursos 2017/18 y 2018/19.

Por otro lado, y para dar una muestra de la aceptación que los videos poseen a nivel global, la Figura 4 recoge una serie de estadísticas proporcionadas por YouTube sobre el canal de Automática durante los cursos académicos 2017/2018 y 2018/2019. En esta plataforma no es posible realizar la distinción que se ha establecido entre acceso y reproducción del video, de manera que tan solo se analizan los accesos a los videos, a los que la plataforma denomina visualizaciones. En la figura, además de los estudiantes procedentes de la aplicación web, se incluyen las visualizaciones de los usuarios que entran directamente a través de YouTube, destacando que durante el periodo de tiempo considerado se han producido un total de 81.238 visualizaciones, con una duración media de reproducción de 2:11 minutos. En la gráfica se puede observar

además que, nuevamente, los picos más importantes se producen en fechas cercanas a las convocatorias ordinarias de exámenes, y con cifras más elevadas que las mostradas en la figura anterior, lo que indica que existe un gran número de usuarios externos a la UMA que muestra interés por el material, llegando a disponer actualmente de un total de 874 suscriptores. En este sentido, se destaca que la procedencia de los usuarios, además de España, abarca países como México, Colombia, Chile y Perú.

### 5.3. Impacto sobre el rendimiento del estudiante

Finalmente, el último aspecto analizado en referencia a los videos publicados, pretende describir el impacto que ha supuesto el material distribuido sobre el rendimiento académico del alumnado. Para ello, se ha estudiado, por una parte, la influencia directa de los videos sobre preguntas concretas dentro de las pruebas de evaluación del alumnado, y por otra, la relación existente entre las calificaciones obtenidas y el número de videos reproducidos.

A lo largo del desarrollo de las asignaturas consideradas, los estudiantes se someten a diferentes pruebas de evaluación en las que se les solicita la realización de ejercicios simples relacionados con conceptos básicos de la materia. Algunos de estos ejercicios tienen relación directa con determinados vídeos puestos a su disposición. La Figura 5 muestra los resultados obtenidos en algunas preguntas concretas, para dos muestras de 150 estudiantes cada una, correspondientes a los dos cursos académicos analizados en este trabajo. La primera de estas muestras está formada por alumnos que han reproducido los videos correspondientes a los conceptos tratados en las cuestiones y la segunda incluye alumnos que no los han reproducido. Tal y como se puede observar, las calificaciones medias de los estudiantes del primer grupo siempre es más elevada que la del resto de los estudiantes,

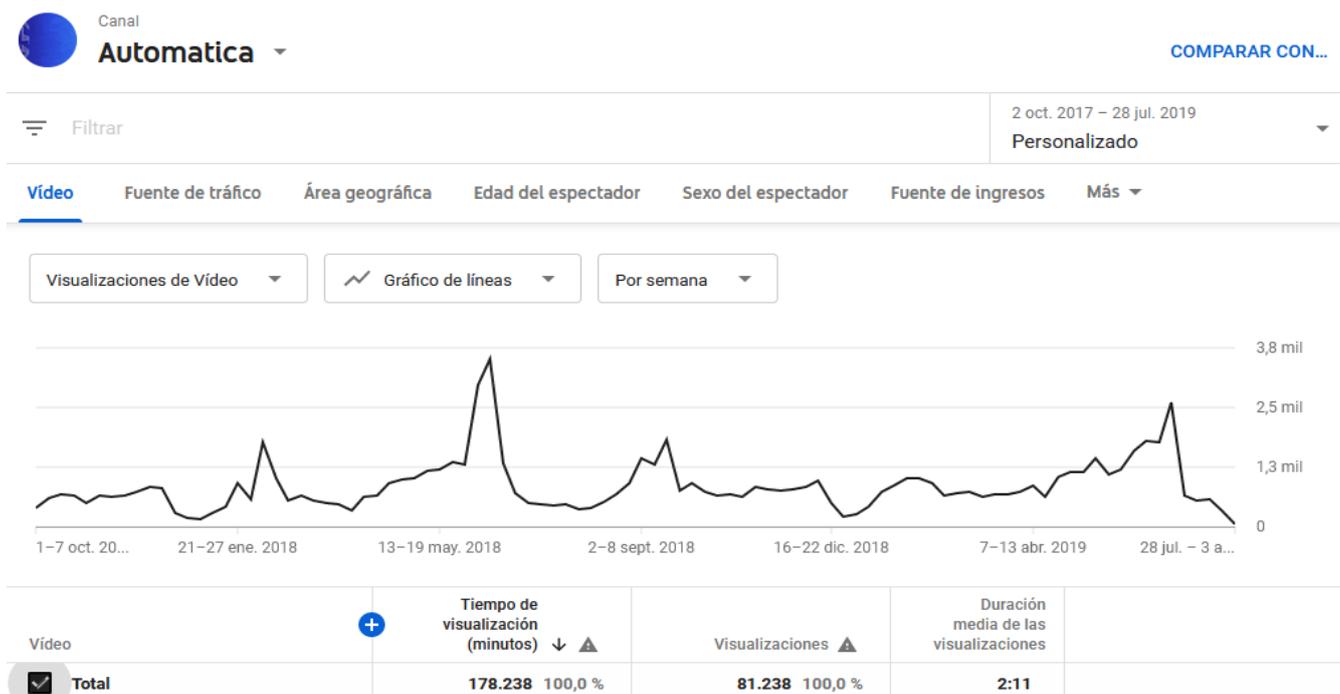


Figura 4. Número de visualizaciones en el periodo comprendido de los cursos académicos 2017/2018 y 2018/2019 del canal de Automática de YouTube ([www.youtube.com/automaticabasica](http://www.youtube.com/automaticabasica)) y datos sobre la duración media de las reproducciones.

llegando a suponer una diferencia de más de 1 punto en algunas cuestiones. Parece evidente, a partir de estos resultados, establecer que el hecho de haber reproducido un video, influye positivamente sobre la calificación de una cuestión directamente relacionada.

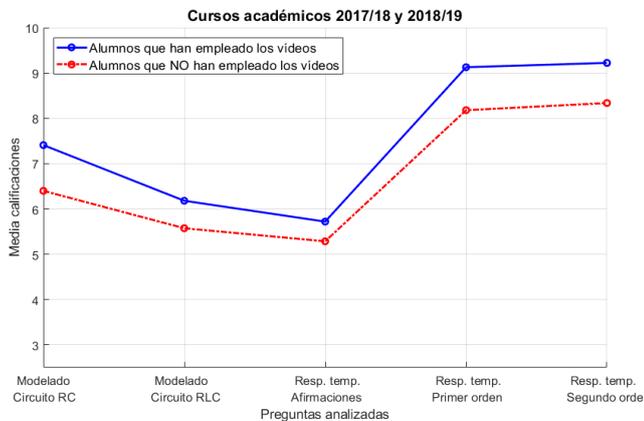


Figura 5: Calificaciones medias de los estudiantes en preguntas asociadas a videos concretos a lo largo de los cursos 2017/18 y 2018/19.

Asimismo, también es interesante analizar la calificación media de los estudiantes en función del número de vídeos visualizados, para comprobar si de alguna manera, estos estudiantes han logrado una mejor comprensión de la materia de manera global. En este sentido, la Figura 6 muestra la calificación media de los estudiantes en función del número de vídeos reproducidos. Nuevamente, a partir de la gráfica, se evidencia el efecto positivo del empleo de los vídeos sobre la calificación de los estudiantes, encontrándose la mayor diferencia entre estudiantes que han visto menos de 5 vídeos y los que han visto entre 5 y 10.

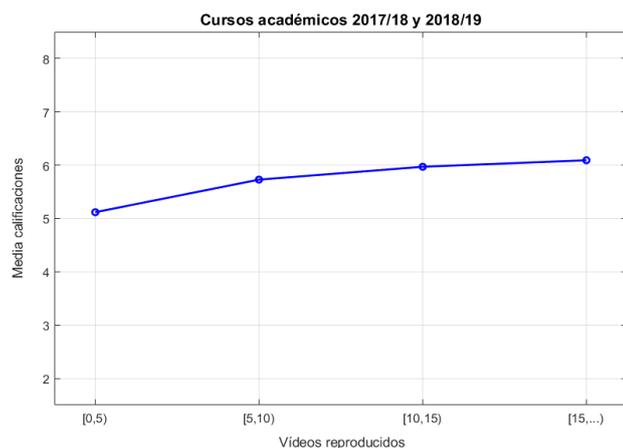


Figura 6: Evolución de la calificación media de los estudiantes en función del número de vídeos reproducidos a lo largo de los cursos 2017/18 y 2018/19.

## 6. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se recoge una experiencia de innovación educativa, realizada durante los cursos 2017/2018 y 2018/2019 en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga, consistente en el empleo de videotutoriales, accesibles a través de un canal de YouTube,

como herramienta de apoyo para el aprendizaje de los conceptos básicos del control automático de sistemas en tiempo continuo por parte de los alumnos de tres asignaturas de diferentes titulaciones. Dicho aprendizaje suele presentar dificultades para el alumnado, por lo que un aspecto clave en esta experiencia ha sido la búsqueda de estrategias para que los materiales elaborados resulten amenos y atractivos, a la vez que útiles. Al margen de esto, el empleo de un canal de YouTube para su publicación se justifica en que este espacio es un medio de comunicación ampliamente utilizado por el alumnado y que está disponible para multitud de plataformas (móviles, PCs, tabletas, videoconsolas y TVs).

El impacto subjetivo de este material sobre los usuarios se ha constatado a través de encuestas de satisfacción realizadas al alumnado, con resultados muy positivos, así como por el número de visualizaciones, el tiempo de visualización, el número de “me gusta” y el número suscriptores del canal de YouTube creado para albergar los videotutoriales. En cuanto al impacto sobre el rendimiento académico, los resultados mostrados en la sección precedente parecen evidenciar el beneficio que el material desarrollado supone sobre el rendimiento del alumno. Sin embargo, realmente es difícil concluir este hecho, puesto que es complicado establecer si los estudiantes que han obtenido una mejor calificación lo han hecho por haber visualizado el material, o porque en términos generales han dedicado más esfuerzo a la materia. En cualquier caso, parece claro que el material ha facilitado la comprensión de los conceptos y, por tanto, la asimilación de la materia.

En este sentido, un aspecto que no se ha contemplado hasta ahora en los vídeos desarrollados y que se pretende abordar en un futuro consiste en introducir un mecanismo que permita cuantificar el grado de asimilación por parte del alumno de los contenidos tratados en cada vídeo. Las encuestas de satisfacción realizadas proporcionan información valiosa, pero no permiten medir el impacto (en términos de mejora de la asimilación de los contenidos) que el vídeo reproducido ha provocado en el alumno, factor que solo se ha podido extraer a través de las pruebas de evaluación realizadas durante el curso académico. Se pretende alcanzar este objetivo de cuantificación a través de cuestionarios interactivos de autoevaluación consistentes en un conjunto de preguntas cortas planteadas al estudiante durante la reproducción del vídeo, que serían diseñados de manera que sus respuestas pudieran ser empleadas para obtener una valoración objetiva de lo aprendido. Dicha valoración resultaría útil, por una parte, al usuario para conocer su grado de asimilación de los conceptos presentados en un vídeo determinado y, por otra, a los autores del trabajo por servir de indicativo de las dificultades encontradas para entender el contenido del vídeo considerado. Por otro lado, los errores cometidos en las respuestas dadas a las preguntas planteadas podrían determinar que se recomendara al usuario la consulta de otros contenidos (vídeos) para mejorar su entendimiento, los cuales serían escogidos en función de los errores concretos detectados.

Por último, y dados los buenos resultados de esta experiencia, sería interesante crear nuevos vídeos con otros contenidos, por ejemplo, el problema de la existencia de un retardo en un sistema de control realimentado, el análisis de sistemas de fase no mínima, el control automático en tiempo discreto y algunas pruebas experimentales realizadas en laboratorio que ayuden al alumnado a entender conceptos teóricos o prácticos. Asimismo, con el propósito de aumentar

el público objetivo de los contenidos, está previsto disponer de todo el material en inglés.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del Plan de Innovación Educativa de la Universidad de Málaga (convocatoria 2017/2019) bajo la referencia PIE17-090. Por otra parte, los autores desean agradecer la ayuda prestada al profesorado del Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga que ha colaborado desinteresadamente en el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- Aguilar, D. A., 2012. Sistemas de control lugar geométrico de las raíces. Ejemplo. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=dXm7Qu5uT4s> el 31/07/2019.
- Arevalo, V., Vicente-del-Rey, J. M., 2019. Canal "automática" en YouTube. Recuperado de <https://automatica.uma.es> el 30/07/2019.
- Arevalo, V., Gonzalez-Jimenez, J., 2011. Collaborative Problem-Based Learning. Experience in the "Computer Vision" Course (Computer Engineering Degree). 4th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI'11), INTED, Madrid, Spain.
- Arevalo, V., Luque-Baena, R. M., Gomez, G., Garcia-Nieto, J. M., Sanchez-Sanchez, J. J., Velasco-Alvarez, F., Godoy-Rubio, R., 2011. An Academic Reinforcement Methodology Based on Multimedia Resources. 4th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI'11), INTED, Madrid, Spain.
- Barreto dos Santos, D. M., dos Santos da Silva, C. A., 2018. Problem-Based Learning in a Computer Engineering Program: Quantitative Evaluation of the Students' Perspective. IEEE Latin America Transactions 17(7), 2061–2068. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8447377>.
- Douglas, B., 2012. Control Systems Lectures - Closed Loop Control. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=O-QqgFE9SD4> el 31/07/2019.
- Jiménez Castillo, D., Marín Carrillo, G. M., 2012. Asimilación de contenidos y aprendizaje mediante el uso de videotutoriales, Enseñanza & Teaching 30(2), 63–79.
- Gonçalves, B. M. F., Gonçalves, V. B., 2019. Professional development in MOOC: Teachers motivation. 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI'19), Coimbra, Portugal. DOI: <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760597>.
- Hambali, N., Halim, H. F., Johari, J., 2015. Implementing problem-based learning in process control laboratory for final year electrical engineering undergraduates: Flow control plant. 7th International Conference on Engineering Education (ICEED'15), IEEE, Kanazawa, Japan. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEED.2015.7451498>.
- Hayashi, Y., Fukamachi, K., Komatsugawa, H., 2015. Collaborative learning in computer programming courses that adopted the flipped classroom. 2015 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTiCE), Taipei, Taiwan. DOI: <https://doi.org/10.1109/LaTiCE.2015.43>.
- IITR, 2018. Lecture 1. Definition and types. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Pv0i-9wWrCI> el 31/07/2019.
- Jevremovic, A., Shimic G., Veinovic, M., Ristic, N., 2017. IP Addressing: Problem-Based Learning Approach on Computer Networks. IEEE Transactions on Learning Technologies 10, 367-378. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2583432>.
- Kuntz, V. H., Ulbricht, V. R., Fadel, L. M., 2018. Collaboration and inclusion for massive open online courses (MOOCs). Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI'18), IEEE, Cáceres, Spain. DOI: <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399407>.
- Li, P., Dong, L., Huang, H., Hu, S., Wang, R., 2016. Research on practice and incentive mechanism of flipped classroom based on small private online course. 11th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE'16), IEEE, Nagoya, Japan. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2016.7581610>.
- METUOpenCourseWare, 2017. Automatic Control Systems II - Lecture 1.1. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=56kzb8RK\\_Cow](https://www.youtube.com/watch?v=56kzb8RK_Cow) el 31/07/2019.
- Pandini, M. M., Diogo Spacek, A., Neto, J. M., Ando Junior, O. H., 2017. Design of a Didatic Workbench of Industrial Automation Systems for Engineering Education. IEEE Latin America Transactions 15(8), 1384–1391. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2016.758161>.
- Rodenas, M., 2012. La utilización de los videos tutoriales en educación. Ventajas e inconvenientes. Software gratuito en el mercado. Revista Digital Sociedad de la Información 33. Recuperado de <http://www.sociedadelainformacion.com/33/videos.pdf> el 19/07/2019.
- Sadaf, J. T., Newby, A. P., Ertmer, J. T., 2012. Exploring factors that predict preservice teachers' intentions to use web 2.0 technologies using decomposed theory of planned behavior. Journal of Research on Technology in Education 45(2), 171–195.
- Saeed, N., Sinnappan, S., 2009. Effects of media richness on user acceptance of web 2.0 technologies in higher education. Advance Learning 2009, 233–243. DOI: <https://doi.org/10.5772/8115>.
- Santana, I., Ferre, M., Hernández, L., Aracil, R., Rodríguez, Y., Pinto, E., 2010. Aplicación del sistema de laboratorios a distancia en asignaturas de regulación automática. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI 7(1), 46–53. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70007-8](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70007-8).
- Sligar, S. R., Pelletier, C. D., Bonner, H. S., Coghill, E., Guberman, D., Zeng, X., Dennis, A., 2017. Student perceptions of online tutoring videos. New Horizons in Adult Education and Human Resource Development 29(4), 4–19. DOI: <https://doi.org/10.1002/nha3.20196>.
- Sparkol, 2017. VideoScribe. Recuperada de <https://www.videoscribe.co/en/> el 30/07/2019.
- Toner, N. L., King, G. B., 2016. Restructuring an undergraduate mechatronic systems curriculum around the flipped classroom, projects, LabVIEW, and the myRIO. American Control Conference (ACC'16), IEEE, Boston, MA, USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACC.2016.7526826>.
- UPV, 2011. Diagramas de Bode - UPV. Recuperada de <https://www.youtube.com/watch?v=TuPaiUDBNhw> el 30/07/2019.
- Vargas, H., Sánchez, J., Jara, C. A., Candelas, F., Reinoso, O., Díez, J. L., 2010. Docencia en Automática: Aplicación de las TIC a la realización de actividades prácticas a través de Internet. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI 7(1), 35–45. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1697-7912\(10\)70006-6](https://doi.org/10.1016/s1697-7912(10)70006-6).
- Wiley, K., 2016. Combining a collaborative learning framework with an e-learning tool to improve learning and professional development in blended learning environments. Future Technologies Conference (FTC'16), San Francisco, CA, USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821769>.
- Yue, J., Rui, H., 2017. Application of MOOC in CDIO integrated teaching pattern: A case study of software engineering major. 12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE'17), IEEE, Houston, TX, USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2017.8085511>.