

Taxonomía de los niveles del aprendizaje de la ingeniería y su implementación mediante herramientas informáticas

P. Fernández-Sánchez, A. Salaverría
Dpt. de Electronica and Telecommunications-UPV e
Instituto de Electrónica Aplicada-UV
Universidad del País Vasco, 20018 San Sebastián
pilar.fernandez@ehu.es

E. Mandado Perez, Dpt. de Tecnología Electrónica e
Instituto de Electrónica Aplicada
V. G. Valdes
Instituto de Electrónica Aplicada
Universidad de Vigo ,36210 Vigo
enriquemandado@iservicesmail.com

Abstract—The complexity of modern technologies and the interrelation between them increased exponentially during the past XX century. Due to that a new general concept defining a Complex Technology as a technology including many interrelated concepts may be established. Electronics is not only an example of a Complex Technology but it also is a horizontal technology combining with many others like Mechanics, to achieve new products or increasing the performance of existing ones. Furthermore, to design an actual engineering learning system it is necessary to consider not only pedagogical aspects but also self-learning ones in order that the engineering student achieves the adequate competence level. For this reason the authors developed a new engineering learning taxonomy in order to foster the concept of integrated learning system (ILS) combining a tutorial with the appropriate computer tools.

Keywords—component integrated learning system; computer aided learning; virtual laboratory; self assessment tool;

I. INTRODUCCIÓN

El progreso de las diferentes áreas de la Tecnología durante la última década del siglo XX y la primera del siglo XXI ha elevado su complejidad y ha dado lugar al concepto general de Tecnología Compleja, que es aquella que está formada por un conjunto de conceptos interrelacionados, lo que dificulta su aprendizaje [1].

Debido a ello, son numerosos los expertos en formación de ingenieros en distintas áreas de la Tecnología y las entidades dedicadas a mejorar la enseñanza de la ingeniería que establecen, entre otras, las siguientes pautas a tener en cuenta para alcanzar el adecuado nivel de formación basado en las competencias de la ingeniería:

La formación de los tecnólogos se debe hacer yendo de lo particular a lo general [2].

El método educativo utilizado se debe basar en la elección de los bloques adecuados y su presentación en la secuencia correcta [3].

Hay que lograr un equilibrio adecuado entre los conceptos abstractos (teorías, fórmulas matemáticas y modelos) y los

concretos (hechos, observaciones, datos experimentales y aplicaciones), para lo cual hay que proporcionar al alumno tantas demostraciones e ilustraciones visuales como sea posible [4] [5].

Hay que poner énfasis en los fundamentos y enseñar más en relación con el diseño y las operaciones en condiciones reales y particularmente con la gestión de la calidad [6], para alcanzar el adecuado nivel de competencias, definidas como el conjunto de habilidades, actitudes y responsabilidades que describen los resultados del aprendizaje de un programa educativo.

II. TAXONOMÍA DE APRENDIZAJE DE LA INGENIERÍA

Desde su creación en la década de 1950, la taxonomía de los objetivos de aprendizaje de Bloom [7] ha sido utilizada por numerosos expertos en pedagogía [8], pero la citada taxonomía, tanto en su versión original como en la revisada por los discípulos de Bloom [9] [10], adolece de un carácter demasiado generalista porque fue pensada para ser útil en cualquier área del conocimiento del ser humano y no está adaptada a la enseñanza de la Tecnología. En los últimos años ha habido propuestas de utilización de la taxonomía de Bloom en la enseñanza de la Ingeniería [11] [12] [13] pero, en general, no tienen en cuenta la complejidad de las Tecnologías actuales y se basan directamente en la taxonomía de los objetivos de aprendizaje original de Bloom o en la revisada.

Por otra parte diversos trabajos [14] [15], y en particular los criterios establecidos por ABET [16], ponen el énfasis en la conveniencia de la enseñanza cíclica de la ingeniería dividida en cuatro niveles:

A. Nivel de manipulación y comprensión de los conceptos básicos (Technician).

En este nivel se aprende a manejar los útiles o herramientas propios de una determinada tecnología y se adquieren conocimientos cualitativos y cuantitativos así como la terminología básica utilizada en la misma.

B. Nivel de análisis y síntesis de sistemas sencillos (Technologist).

En este nivel se adquieren los siguientes tipos de conocimientos de forma secuencial:

- Conocimientos de métodos de manejo de datos (normas, clasificaciones, etc.)
- Conocimiento de conceptos abstractos (axiomas, teorías, etc.)
- Análisis de datos, métodos y arquitecturas.
- Diseño de sistemas sencillos de una tecnología determinada.

C. Nivel de síntesis de sistemas complejos mediante métodos tradicionales (Engineer).

En este nivel se incluye la elaboración de trabajos puntuales, realización de planes secuenciales, así como la inducción de conclusiones y valoraciones críticas. Por lo tanto es aquél en el que, después de adquiridos los conceptos de una tecnología, se alcanza el nivel de competencia correspondiente a ser capaz de diseñar sistemas basados en ella y se desarrolla la creatividad que permite comenzar a avanzar sobre el estado actual de la misma.

D. Nivel de síntesis mediante métodos no tradicionales o en campos de aplicación nuevos (Engineering Doctor).

Este nivel corresponde al doctorado en ingeniería en el que, después de practicar durante varios años los métodos existentes para diseñar productos y procesos, se alcanza la madurez que permite ser capaz de avanzar sobre el estado de la misma mediante la creación de un nuevo método, de una nueva variante de uno ya existente o de la manera de aplicarlo en una determinada situación.

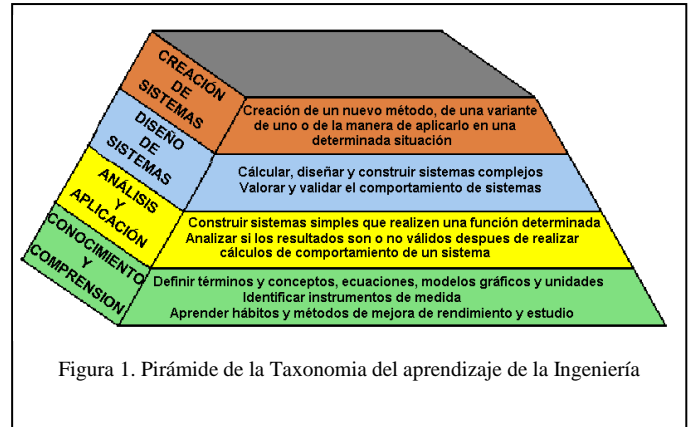
Por todo lo expuesto los autores de esta comunicación se plantearon, a partir de la taxonomía de Bloom, el desarrollo de una nueva taxonomía basada en el carácter cíclico de la enseñanza de la ingeniería, dividida en cuatro niveles sucesivos, aunque no disjuntos, que se describen brevemente a continuación:

A. Nivel de comprensión y conocimiento

En Tecnología se puede decir que recordar o reconocer información es en la práctica muy difícil, por no decir imposible, sin comprender los conceptos en los que se basa. Por ello, en el primer nivel es necesario presentar los conceptos relativos a la Tecnología de que se trate, adecuadamente estructurados para facilitar su asimilación y transferencia a la memoria de larga duración [17] del que trata de adquirirlos. Se puede asociar por ello a los verbos identificar, enumerar, explicar, describir, nombrar, resumir, asociar y memorizar. Y las competencias correspondientes son:

- Definir términos y conceptos, ecuaciones, modelos gráficos, y unidades de ingeniería.
- Identificar los instrumentos de medida.

- Aprender hábitos y métodos de mejora del rendimiento y de estudio.
- Buscar información.
- Identificar los formatos adecuados de comunicación.



B. Nivel de análisis y aplicación

Este nivel está formado por dos subniveles interdependientes, porque las acciones que se realizan en cada uno de ellos influyen en el otro. Dichos subniveles son:

Subnivel de análisis

En él se aprende a analizar y mantener sistemas complejos, lo que se puede describir mediante los verbos demostrar, interpretar, utilizar, mantener y experimentar. Y las competencias son:

- Analizar si los resultados que se obtienen son o no válidos después de realizar cálculos que establezcan el comportamiento de un sistema.
- Elegir entre diferentes técnicas de fabricación teniendo en cuenta sus restricciones.
- Analizar los resultados de las mediciones.
- Editar el trabajo y adaptarlo a la audiencia mediante la corrección y selección de los límites de la información.

Subnivel de aplicación

En este subnivel se aprende a aplicar la tecnología en situaciones reales y a diseñar sistemas sencillos, lo que se puede definir mediante los verbos calcular, organizar, implementar, asociar, diferenciar, contrastar, distinguir y seleccionar.

- Utilizar la información aprendida, los términos técnicos y las unidades para resolver problemas y expresar conceptos mediante fórmulas matemáticas. Crear diagramas y esquemas.
- Darse cuenta de que la utilización de métodos de trabajo aumenta la eficacia.
- Medir y registrar datos con los instrumentos adecuados.
- Realizar modelos matemáticos de dispositivos físicos.

- Construir dispositivos simples o circuitos que realizan una función determinada.
- Comunicar trabajos técnicos debidamente documentados y representar sus resultados en forma de cuadros o gráficos.
- Reunirse activamente y funcionar bien en equipo.

C. Nivel de diseño de sistemas

Este nivel corresponde al verdadero grado de ingeniería y una vez superado se debe tener competencia para diseñar e implementar sistemas complejos, lo que se puede indicar mediante los verbos construir, diseñar, desarrollar, investigar, valorar, criticar, juzgar, argumentar, validar y defender. Y las competencias:

- Diseñar sistemas.
- Calcular y construir sistemas.
- Valorar y validar el comportamiento de sistemas.

D. Nivel de creación en ingeniería

En este nivel se crean nuevos métodos de diseño de sistemas, nuevas variantes de uno ya existente o de la manera de aplicarlos en la práctica. Además de los verbos indicados en el nivel de diseño, en él se pueden utilizar los verbos avanzar, superar, mejorar, crear, e inventar,

- Construir, diseñar y organizar sistemas complejos.
- Tomar decisiones con información incompleta.
- Producir, juzgar y encontrar nuevas formas eficaces de presentar documentos y liderar los grupos de trabajo.
- Utilizar el autoconocimiento para optimizar la eficacia personal

Como resultado de todo ello, en el tronco de pirámide se la figura 1 se representa la taxonomía desarrollada para establecer los niveles de aprendizaje de la ingeniería.

III. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TAXONOMÍA DE LA INGENIERÍA

Para alcanzar las competencias establecidas en el apartado anterior es necesario diseñar un sistema educativo para cada nivel y establecer la adecuada relación entre ellos.

Son numerosas las herramientas informáticas desarrolladas para mejorar la práctica de la ingeniería y entre ellas cabe citar a los simuladores, que comenzaron a utilizarse en la década de 1950 como una actividad que forma parte al mismo tiempo del diseño asistido por computador conocido como CAD (*Computer Aided Design*) y de la ingeniería asistida por computador, conocida como CAE (*Computer Aided Engineering*), y permite llevar a cabo las pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de un producto sin necesidad de implementar un prototipo. El progreso de los computadores facilitó, durante las décadas de 1970 y 1980, el desarrollo de simuladores en diversas áreas de la ingeniería como por ejemplo la Mecánica [18] [19] y la Microelectrónica

para la que la Universidad de Berkeley desarrolló el programa SPICE (acrónimo de *Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis*) [20] a partir de 1972 y la empresa MicroSim desarrolló en 1984 una versión de SPICE para el computador personal IBM-PC, a la que denominó PSPICE. Se propició de esta forma su utilización en la enseñanza, que comenzó por aquellas áreas del conocimiento tecnológico, como por ejemplo los procesos químicos, en las que no es fácil hacer experimentos en un laboratorio [21] [22] [23].

A partir de la mitad de la década de 1990 los simuladores se convirtieron en herramientas imprescindibles en numerosas áreas de la Ciencia y principalmente de la Tecnología para poder desarrollar numerosos productos complejos y disminuir el riesgo de que después de implementar un prototipo de elevado coste no resultase viable la fabricación en serie. La herramienta PSPICE se convirtió en un programa simulador de circuitos analógicos y digitales con licencia propietaria de la empresa Cadence, destinado a satisfacer requisitos industriales muy complejos. PSPICE se integró con otros programas, como por ejemplo OrCAD [24], Allegro y Spectra, para formar un sistema que automatiza el proceso completo que hay que realizar para diseñar un circuito o un sistema electrónico, desde el esquema funcional del mismo hasta la placa de circuito impreso (*Printed wire card*) sobre la que se montan sus componentes.

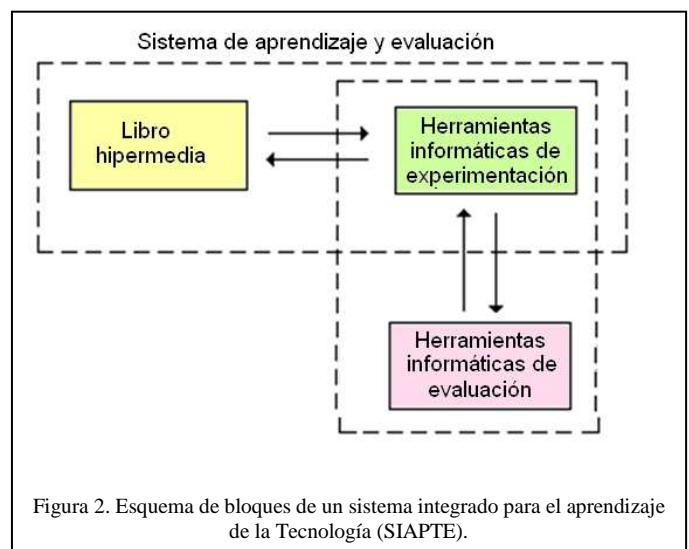


Figura 2. Esquema de bloques de un sistema integrado para el aprendizaje de la Tecnología (SIAPTE).

Fue también en esta época, cuando se desarrollaron las primeras herramientas gráficas informáticas para comprobar el comportamiento de distintos tipos de sistemas (mecánicos, eléctricos, electrónicos de control, etc.). Este tipo de herramientas son programas informáticos interactivos que incorporan un lenguaje de programación de alto nivel con el que se pueden diseñar programas que ejecutan tareas intensivas de cálculo técnico de manera más rápida que con los lenguajes de programación de aplicación general, como por ejemplo el Visual Basic, el C, el C++ y el Java. Entre ellas cabe citar la herramienta MatLab (abreviatura de *Matrix Laboratory*) [25] [26] que es una herramienta gráfica que tiene una amplia gama de aplicaciones en Ingeniería y en Ciencia, en áreas tan dispares como por ejemplo el procesamiento de señales e imágenes, las comunicaciones, el análisis y el diseño de

sistemas de control, las pruebas y mediciones de diferentes tipos de variables físicas, el modelado y el análisis financiero y la biología computacional. MatLab posee un conjunto de funciones denominadas "cajas de herramientas" (*Toolboxes*) que están disponibles por separado para facilitar al usuario su incorporación en los programas y poder así analizar el comportamiento y diseñar sistemas en las diferentes áreas de la Tecnología antes mencionadas.

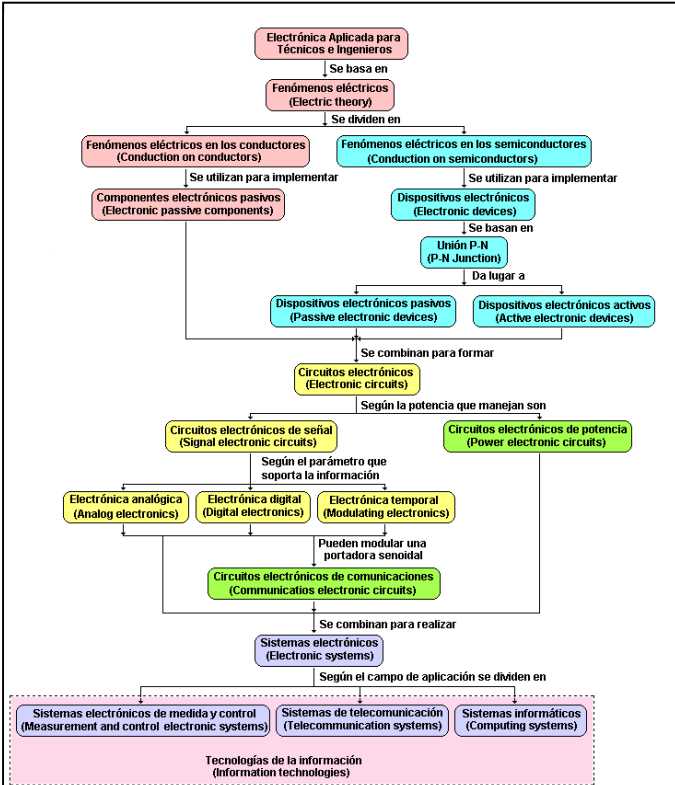


Figura 3. Mapa conceptual de SIAPE de la Electrónica Aplicada para Técnicos e Ingenieros.

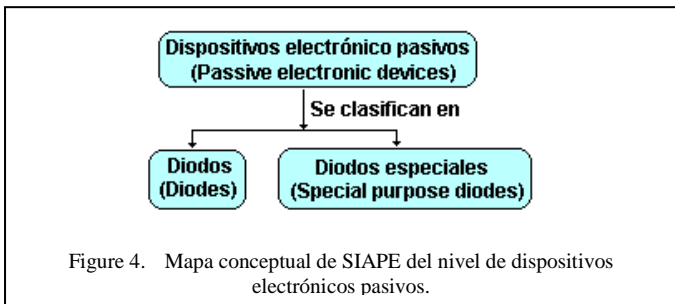


Figure 4. Mapa conceptual de SIAPE del nivel de dispositivos electrónicos pasivos.

No obstante, a pesar del gran desarrollo de los simuladores y de las herramientas gráficas informáticas para comprobar el comportamiento de distintos tipos de sistemas se echa en falta, en los dos primeros niveles más bajos de la taxonomía del aprendizaje de la ingeniería de la figura 1, un sistema que facilite el aprendizaje de los conceptos básicos y su almacenamiento en la memoria de larga duración, mediante la utilización de las simulaciones, antes de realizar actividades prácticas en un laboratorio, y la autoevaluación. Igualmente en

los dos niveles más altos en los que los conceptos se complican y se intercombinan se necesita un sistema educativo que facilite al alumno el aprendizaje de métodos de diseño utilizables con productos de diferentes fabricantes. Por todo ello se planteó el desarrollo de un sistema de enseñanza y aprendizaje que combina la hipermedia con las herramientas informáticas adecuadas, tal como se representa en la figura 2. A dicho sistema se le denomina "Sistema Integrado para el aprendizaje de la Tecnología" (SIAPE) y está formado por:

- Un libro electrónico que constituye un documento hipermedia basado en los mapas conceptuales.
- Una o más herramientas informáticas de experimentación.
- Un sistema de autoevaluación asociado a la herramienta informática utilizada.

El libro electrónico debe estar basado en mapas conceptuales que faciliten al alumno el acceso directo a los conceptos y la interrelación, en los instantes adecuados, entre éstos y la herramienta informática utilizada. Para ello es necesario desarrollar un mapa conceptual del área de la Tecnología de que se trate y utilizarlo como elemento básico o principal sobre el que pivote todo el sistema. Como ejemplo en la figura 3 se presenta el mapa conceptual de la Electrónica Aplicada. A partir de él se deben elaborar mapas conceptuales diferentes en función del nivel del aprendizaje que se pretende que el alumno alcance mediante la utilización del sistema.

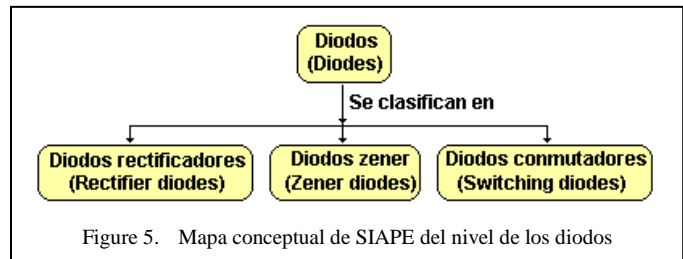


Figure 5. Mapa conceptual de SIAPE del nivel de los diodos

El tipo de herramienta informática depende del nivel de aprendizaje que se pretenda alcanzar con el sistema. En los dos niveles más bajos se puede utilizar un laboratorio virtual formado por un conjunto de experimentos. En el tercer nivel de diseño de sistemas se puede utilizar un simulador combinado con la metodología de aprendizaje basada en problemas [*Problem Based Learning (PBL)*] [27] [28] [29] [30].

Como ejemplo de SIAPE se ha desarrollado SIAPE [31] que es un sistema educativo concebido para facilitar al usuario el aprendizaje de la Electrónica en el nivel de conocimiento y comprensión y en los primeros estadios del nivel de análisis y aplicación. Para ello, mediante la técnica de la tormenta de ideas (*Brainstorming*) se desarrolló el programa de la materia y, a partir de él, se obtuvo el mapa conceptual de la figura 3 y se desarrollaron sucesivos mapas conceptuales. Como ejemplo en la figura 4 se indica el mapa conceptual de los dispositivos electrónicos pasivos, en la figura 5 el de los diodos y en la figura 6 el de los diodos rectificadores.

Como herramienta informática se ha desarrollado un laboratorio virtual formado por un conjunto de experimentos diseñados para facilitar la comprensión de los conceptos

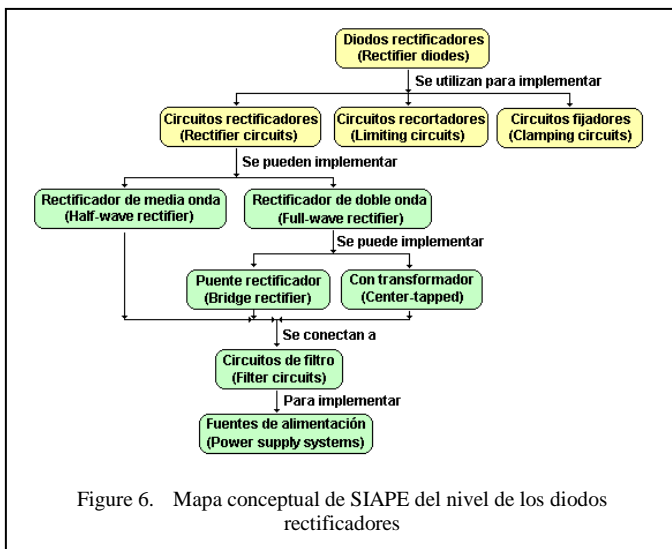


Figure 6. Mapa conceptual de SIAPE del nivel de los diodos rectificadores

relativos a los diodos. El laboratorio virtual posee las siguientes características:

- Cada experimento es una simulación pedagógica interactiva que puede ser incluida en cualquier otro programa.
- Contiene experimentos destructivos que no se pueden llevar a cabo en el laboratorio y muestran al alumno las consecuencias negativas de la mala utilización de los elementos reales.
- Tiene un interfaz de usuario amigable.
- Relaciona los conceptos teóricos con los prácticos a través de un conjunto adecuadamente seleccionado de experimentos.
- Es fácilmente ampliable.

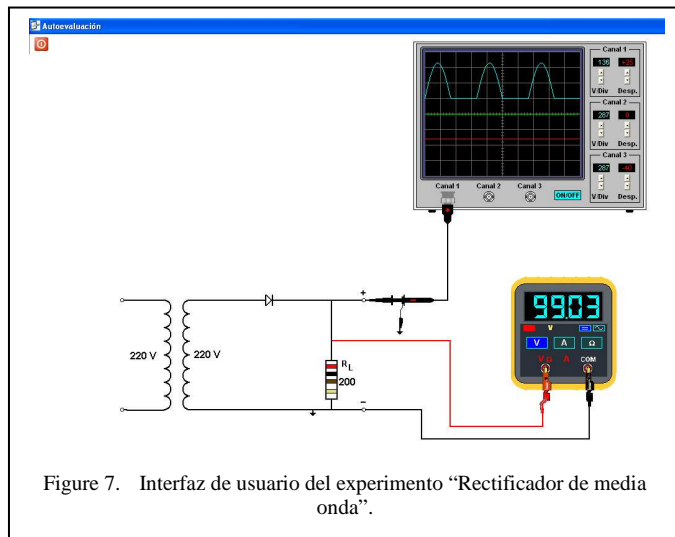


Figure 7. Interfaz de usuario del experimento "Rectificador de media onda".

Como ejemplo en la figura 7 se presenta la interfaz de usuario del experimento "Rectificador en puente de diodos".

Como herramienta de autoevaluación se desarrolló un conjunto de preguntas de tipo objetivo cada una de las cuales está asociada con un experimento del laboratorio virtual. En la figura 8 se representa una pregunta asociada al experimento de la figura 7.

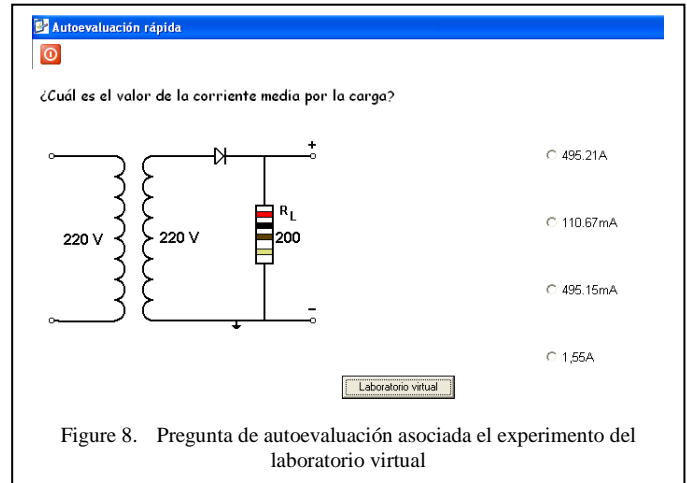


Figure 8. Pregunta de autoevaluación asociada al experimento del laboratorio virtual

IV. CONCLUSIONES

El conjunto de los tres componentes de SIAPE hace consciente al alumno del nivel de aprendizaje que alcanza gracias a su sistema de navegación en el que se le pregunta sobre sus aciertos y errores. Con este diseño metodológico y los cuestionarios adecuados se alcanzan las competencias correspondientes a los dos primeros niveles de la taxonomía del aprendizaje de la ingeniería de la tabla 1 tal como se ha comprobado mediante los resultados de la evaluación de los alumnos del primer curso de la Escuela Politécnica de San Sebastián Ingeniería Técnica Industrial durante el curso 2010-2011 [31] [32].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. D. Valdés, M. J. Moure y Enrique Mandado. Hypermedia: A tool for teaching complex technologies. IEEE Transactions on Education, Volume 42, 1999.
- [2] A. Salaverría. Nueva metodología para la enseñanza asistida por ordenador de la Electrónica Aplicada. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. 2003.
- [3] L. L. Bucciarelli. Engineering Philosophy. Delft University Press. The Netherlands. 2003.
- [4] R. M. Felder & L. K. Silverman. Learning and Teaching Styles in Engineering Education. Engineering Education, 78 (7), 674.1988.
- [5] R. M. Felder & al. The future of engineering education II. Teaching methods that work. Chemical Engineering Education, 34, pp. 26-39. 2000.
- [6] Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). Dirección de internet: <http://www.abet.org/> Última consulta, enero de 2012.
- [7] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, & D. R. Krathwohl. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Education. New York: David McKay, 1956. Nueva York: David McKay. 1956.
- [8] T. Place, B. Aller & E. Tsang. Evaluating and improving student opportunities in a first-year Learning Community: Lifelong learning and

- career awareness. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*. No 8, Vol 4(1), pp. 213-230. 2006.
- [9] L. W. Anderson & D. R. Krathwohl (Eds.). *A taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Addison Wesley Longman. 2001.
- [10] D. R. Krathwohl. *A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview*. Theory into Practice, Volume 41, Number 4. College of Education, The Ohio State University. 2002.
- [11] G. Spivey. *A taxonomy for learning, teaching, and assessing digital logic design*. 37th Annual Frontiers in Education Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, pp. 4-9. 2007.
- [12] G. K. Padmaperuma, S. Ilanko & D. Chen. Opportunities and challenges in instructional design for teaching the flexure formula using the revised Bloom's Taxonomy. *International Journal of Engineering Education*. Vol. 22, No. 1, pp. 148-156. 2006.
- [13] A. J. Swart. Evaluation of final examination papers in Engineering: A case study using Bloom's Taxonomy. *IEEE Transactions on Education*. Vol. 53, No. 2, pp. 257-264. May 2010.
- [14] E. Mandado y J. M. Amores. La enseñanza de la ingeniería y el futuro de la profesión. *Revista Dyna*. No. 6. Junio 1985.
- [15] International Engineering Alliance. *Graduate Attributes and Professional Competencies*. Version 2. 18 June 2009. Disponible en: <http://www.washingtonaccord.org/IEA-Grad-Attr-Prof-Competencies-v2.pdf>. Último acceso en Enero 2012.
- [16] Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). Dirección de internet: <http://www.abet.org/accreditation-criteria-policies-documents/> Última consulta enero de 2012.
- [17] J. D. Novak y D. B. Gowin. *Aprendiendo a aprender*. Editorial Martínez Roca. Barcelona. 1988.
- [18] E. J. Hang. *Computer aided kinematics and dynamics of mechanical systems*. Allyn and Bacon Series in Engineering. Prentice Hall. 1989.
- [19] P. E. Nikavesh. *Computer aided analysis of mechanical systems*. Prentice Hall. 1988.
- [20] L. W. Nagel & D. O. Pederson. *SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)*. Memorandum No. ERL-M382. University of California, Berkeley. April 1973.
- [21] M. A. Breuer. *Digital system design automation: Languages, simulation and data base*. Computer Science Press Inc. 1975.
- [22] S. Smith., J. R. Ghesquiere & R. A. Avner. The use of computers in the teaching of Chemistry. *Journal of Chemical Education*. Volume 51. Number 4. April 1974.
- [23] D. Wolf & R. D. Williams. Application of Continuous System Simulation languages to Chemical Systems. *Journal of Chemical Education*, volume 51, number 5. May 1974.
- [24] C. Quintans. *Simulación de circuitos electrónicos con OrCAD 16Demo*. Marcombo. 2008.
- [25] S. Jain. *Modeling and Simulation using MATLAB-Simulink*. Wiley-India. 2011.
- [26] E. B. Magrab et al. *An Engineers guide to MATLAB, with applications from mechanical, aerospace, electrical and civil engineering*. Second edition. Pearson. 2005.
- [27] H. S. Barrows & R. M. Tamblyn. *Problem-based learning: An approach to medical education*. New York. Springer Publishing Company. 1980.
- [28] J. F. Lindsay. Individual computer-generated problem assignments as an approach to continuous assessment of students. *Proceedings of the 5th Annual Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE. p.p. 322-325. 1975.
- [29] J. R. Savery & T. M. Duffy. Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*. August 1994.
- [30] M. Scardamalia, C. Bereiter, R. S. McLean, J. Swallow & E. Woodruff. *Computer-supported learning environments and problem-solving*. Berlin: Springer-Verlag. 1989.
- [31] P. Fernández-Sánchez, *SIAPE: Sistema Integrado para el Aprendizaje de la Electrónica para Técnicos e Ingenieros*, IEEE-RITA, vol. 6, N° 1, Feb. 2011.
- [32] P. Fernández-Sánchez, *ISLE: An Integrated Self-Learning system of Electronic Using a Virtual Laboratory as a Self- Assessment Tool*, *International Journal of Engineering Education*, vol. 27, No.5, pp. 1139-1149, 2011