

# La evaluación y la comprensión usando objetos digitales

Sonia Pastorelli, Eva Casco, Valeria Bertossi y Elvira Rodríguez

*Facultad Regional Santa Fe. Universidad Tecnológica Nacional, spastorelli@frsf.utn.edu.ar*

## Resumen—

El logro de desempeños que demuestren la comprensión es un elemento clave e imprescindible en la formación de un ingeniero, especialmente en las asignaturas del ciclo básico común. Lejos ha quedado la preocupación centrada en la adquisición de técnicas y la repetición de rutinas estandarizadas; hoy se evidencia que es importante atender al desarrollo de habilidades que van más allá de la aplicación mecánica de métodos y algoritmos. La comprensión es un constructo que se evidencia en distintas dimensiones y éstas tienen oportunidades de emerger al incorporar objetos digitales como instrumentos mediadores en la interacción docente – alumno – objetos de aprendizajes. Desde las cátedras del área Matemática de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional nos proponemos desarrollar y usar objetos digitales educativos que permitan mejorar el nivel de comprensión de contenidos medulares de asignaturas del ciclo básico común de las carreras de ingeniería. En este sentido es necesario examinar, considerar la pertinencia y seleccionar los objetos previamente a su utilización. Finalmente, valorar los niveles de comprensión que exhiben los alumnos cuando se incorporan estos recursos.

**Palabras clave—** Objetos Digitales, Comprensión, Evaluación.

## I. INTRODUCCIÓN

Según Blythe [1] comprender es desempeñarse de un modo flexible en un área de conocimiento, incumbe a la capacidad de hacer con un tópico una variedad de cosas que estimulan el pensamiento, tales como explicar, demostrar y dar ejemplos, generalizar, establecer analogías y volver a presentar el tópico de una manera nueva.

Se pretende alentar la comprensión conceptual, las representaciones y conexiones múltiples, la modelización y resolución de problemas. En esta línea, el empleo de recursos digitales educativos que permitan cálculos numéricos y simbólicos con capacidad gráfica, pueden jugar un papel importante, aunque, como aclara Ligouri [2] el uso de medios tecnológicos, incluidas las computadoras, no garantiza 'per se' que los alumnos desarrollen estrategias para aprender, ni fomentan el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior. Se adhiere en tal sentido a la postura de la autora, que sostiene que la calidad educativa depende, más que de sus características técnicas, del uso o explotación didáctica que realice el docente y del contexto en el que se desarrolle. Según Cabero y Llorente [3], antes de pensar en términos de qué medio, debemos plantearnos para quién, cómo lo vamos a utilizar y qué pretendemos con él. Cuando se habla de aprendizaje, el individuo no es la única variable a tener en cuenta. Es necesario considerar que se encuentran presentes también su historia personal, los conocimientos adquiridos, las personas que lo rodean y su entorno, las herramientas que dispone; que no sólo apoyan el aprendizaje sino que lo determinan. Para Veletsianos [4], las tecnologías emergentes son

herramientas, conceptos, innovaciones y avances utilizados en diversos contextos educativos al servicio de múltiples propósitos relacionados con la educación. En la búsqueda constante de estrategias para que los estudiantes puedan comprender y asimilar los contenidos, es habitual recurrir a la incorporación de herramientas de software que colaboren en el proceso.

El proyecto de investigación colaborativa sobre Enseñanza para la Comprensión (EpC) desarrollado por la Escuela de Graduados de Educación de Harvard establece un marco conceptual guía para llevar a la práctica este sistema de trabajo. Wiske y Blythe dan cuenta de esta metodología de enseñanza que a la vez aporta la metodología de investigación [1], [5], [6].

Aborda cuatro preguntas clave: ¿qué tópicos vale la pena comprender?, ¿qué deben comprender los alumnos sobre esos tópicos?, ¿cómo podemos fomentar la comprensión?, ¿cómo podemos averiguar qué es lo que comprenden los alumnos?

Las respuestas a cada una de las preguntas dan origen a los pilares de la EpC: tópicos generativos, metas de comprensión, desempeños de comprensión y evaluación diagnóstica continua.

Los tópicos generativos son temas, cuestiones, conceptos, ideas, etc., que proporcionan hondura, significación, conexiones y una variedad de perspectivas en un grado suficiente como para apoyar el desarrollo de comprensión profunda por parte del alumno.

El grupo de trabajo del proyecto EpC, luego de años de investigación, que es probable que un tópico sea generativo si es medular para un dominio o disciplina, es rico en conexiones, es accesible e interesante para los alumnos y vinculado con las pasiones del docente.

Las metas de comprensión detallan los logros básicos a los que apuntan los docentes y los alumnos. Identifican conceptos, procesos y habilidades en torno de los cuales los alumnos desarrollan la comprensión. Las hay de distintos "tamaños", hay metas de comprensión de la unidad de estudio y hay otras que atraviesan distintas unidades. A éstas se las denomina "hilos conductores" y afirman explícitamente lo que se espera que los alumnos lleguen a comprender. Mientras que los tópicos generativos delimitan los contenidos, las metas definen, de manera más específica las ideas, procesos, relaciones o preguntas que los alumnos comprenderán mejor por medio de su indagación.

Es importante que las metas de comprensión lleven a docentes y alumnos hacia el centro de un trabajo significativo más que hacia zonas periféricas de su agenda. A diferencia de los otros tres elementos del marco conceptual de la EpC, las metas no formaban parte de las primeras formulaciones del mismo. La importancia de este elemento surgió a medida que los docentes e investigadores empezaron a tratar de diseñar materiales y actividades para

enseñar los tópicos y a definir criterios para evaluar los desempeños.

Los desempeños de comprensión son actividades que desarrollan y demuestran la comprensión del alumno al exigirles usar lo que saben de nuevas maneras. En esas actividades los alumnos reconfiguran, expanden y aplican lo que saben y, además, extrapolan y construyen a partir de sus conocimientos previos. Constituyen los elementos más importantes del marco conceptual de la EpC: se insiste en que la comprensión se desarrolla y se demuestra poniendo en práctica la propia comprensión.

La evaluación diagnóstica continua consiste en integrar el desempeño y la realimentación. Según Blythe, Bondy y Kendall [1] no es más que el proceso de brindar información y respuestas claras a los desempeños de comprensión de los alumnos, de modo tal que les permita mejorar sus próximos desempeños. Exige dos condiciones: que los desempeños de comprensión se ciñan a criterios de evaluación claros, públicos y pertinentes y que los alumnos tengan la posibilidad de recibir realimentación. La valoración debe provenir de distintas fuentes (propia, del docente o de los pares) y permitir la estimación del avance, mostrando no sólo los logros sino el modo de mejorarlos.

El logro de desempeños que demuestren la comprensión de contenidos medulares de las asignaturas del ciclo básico común (tales como Física, Química, Matemática, etc.) es un objetivo sustancial en la formación del ingeniero tecnológico; y para alcanzarlo, como docentes comprometidos, pretendemos incorporar en el proceso enseñanza aprendizaje aquellas tecnologías que los "nativos digitales", que ocupan las aulas, tienen incorporadas como propias.

## II. METODOLOGÍA

Por lo expuesto anteriormente los docentes del área matemática de la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) trabajamos con el objetivo de disponer de objetos digitales educativos que permitan mejorar el nivel de comprensión de contenidos medulares de asignaturas del ciclo básico común de las carreras de ingeniería.

Específicamente nos proponemos:

1. Identificar los contenidos medulares de las distintas asignaturas y aquellos que posibiliten la articulación horizontal y/o vertical entre disciplinas del ciclo básico común, vinculados a distintos fenómenos analizables mediante simulaciones computacionales.

2. Explorar y comparar objetos digitales educativos existentes que permitan simular los fenómenos que se modelan, factibles de ser utilizados como recurso didáctico interactivo para los temas medulares identificados.

3. Analizar la incidencia del uso del objeto digital educativo en los niveles de desempeños de la comprensión en cada una de sus dimensiones.

4. Evaluar la relación entre el uso del objeto digital educativo, el nivel de comprensión y el desempeño académico.

Este proyecto se encuadra en una investigación educativa aplicada. Guiándonos por los lineamientos del marco teórico de la EpC, intentamos describir o explicar un proceso, esperando una interacción mutua entre actores. La construcción de significado y el contexto en el que ellos actúan forman parte del tema. Es un diseño semi-experimental, donde se estudiará el efecto que provoca en

el nivel de comprensión de conceptos medulares la utilización del recurso didáctico digital y si su implementación lo mejora.

El estudio de caso abarca la población constituida por los alumnos del ciclo básico común de la FRSF de la UTN.

La validez interna y la secuencia metodológica se enmarca en la Ingeniería Didáctica [7], basada en el análisis a priori y a posteriori. Se denomina con este término a una forma de trabajo didáctico equiparable con el trabajo del ingeniero quien, para realizar un proyecto determinado, se basa en los conocimientos científicos de su dominio y acepta someterse a un control científico. Sin embargo, al mismo tiempo, se encuentra obligado a trabajar con objetos mucho más complejos que los objetos depurados de la ciencia y, por lo tanto, tiene que abordar prácticamente con todos los medios disponibles, problemas de los que la ciencia no quiere o no puede hacerse cargo. La ingeniería didáctica tiene una doble función; significa tanto unas producciones para la enseñanza basadas en resultados de investigaciones que han utilizado metodologías externas a la clase, como una metodología de investigación específica.

El proceso está centrado en realizaciones didácticas en clase, es decir, aplica sobre la concepción, realización, observación y análisis de contenidos medulares. La investigación comienza con una primera etapa exploratoria de conceptos principales de las asignaturas del ciclo básico común y su relación con asignaturas de otras disciplinas de las carreras de Ingeniería de la FRSF de la UTN, así como también de objetos digitales educativos que permitan simular fenómenos a partir de los conceptos identificados.

En la segunda etapa del proyecto, de análisis a priori, fijaremos las variables de comando pertinentes y diseñaremos instrumentos adecuados para identificar posibles causas de errores conceptuales, representaciones equivocadas, obstáculos más frecuentes, procedimientos erróneos, desempeños no satisfactorios, etc. Intentamos un estudio retrospectivo puesto que los alumnos involucrados, es posible que en gran parte, hayan adquirido conceptos erróneos en su espacio de acción anterior al del marco de esta investigación.

En una tercera etapa, con los datos recogidos trabajaremos, bajo un enfoque multirreferencial, en el diseño de secuencias didácticas a partir de los temas centrales que puedan incorporar las tecnologías emergentes para actuar en las distintas dimensiones cognitivas que se ponen en juego en el acto de aprender (relacionar, reconocer errores, volver a probar, interactuar con los pares, con el tema, con el recurso pedagógico, revisar todo el proceso).

El objetivo es habilitar desempeños de comprensión, es decir, competencias para usar lo que se sabe en contextos nuevos e interactuar con las dificultades para sortearlas y aprender de ellas. Para ello se diseñarán guías de trabajo destinadas específicamente a quebrar las concepciones erróneas y dificultades procedimentales de los alumnos, con énfasis en la recuperación de aspectos que el trabajo con objetos digitales educativos potencian: la modelización, la prueba con distintos registros (gráficos, analíticos, numéricos, simbólicos, etc.), la contrastación de resultados, etc.

La triangulación, el contraste plural de fuentes, métodos, recursos, etc., proporcionarán elementos para delinear propuestas didácticas superadoras.

Con una visión interpretativa y crítica revisaremos las dificultades de los estudiantes. La evaluación será parte del proceso y permitirá analizar si con la utilización del recurso educativo digital se evidencian cambios en el nivel de comprensión en cada una de sus dimensiones.

Luego, en la etapa de validación, esperamos rescatar aspectos que den cuenta de mejoras en los rendimientos académicos.

### III. AVANCES

En la etapa exploratoria del Proyecto, donde se buscan los principales tópicos del ciclo básico, docentes de Análisis Matemático II interactuando con docentes de asignaturas de la especialidad, encuentran que los estudiantes muestran en su mayoría bajos niveles de comprensión en tópicos relacionados a la Ecuación Diferencial Ordinaria (EDO): “Solución fundamental: la exponencial matricial”, “Teoría cualitativa: puntos de equilibrio, estabilidad”. Analizando las posibles razones se encuentra que en los textos predomina el abordaje analítico en la enseñanza los mismos. Se asienta en el desarrollo de un menú de algoritmos que permiten resolverlas. Esto por lo común, redundando en un aprendizaje mecánico, carente de utilidad para el estudiante, que no invita a la interpretación de la(s) solución(es). Esto es lo que la EpC denomina conocimiento ritual, característico de la comprensión ingenua. Por su parte, el enfoque cualitativo permite investigar propiedades de las soluciones sin necesidad de resolver la EDO. Este tipo de estudio, combinado con la visualización de campos vectoriales, curvas solución y expresiones algebraicas obtenidas de resolución analítica, permite un mejor entendimiento e interpretación de las soluciones. El uso de la matriz exponencial para obtener la solución de un sistema lineal de EDO y la gráfica de la solución obtenida, que tanta riqueza experimental ofrece, no se explotan porque los cálculos y gráficos son difíciles de obtener con calculadora, lápiz y papel. Los temas son de arduo abordaje teórico. La exponencial matricial, por ejemplo, necesita de numerosos conceptos previos, tales como diagonalización de matrices en el campo complejo y formas de Jordan, que, en general, no son desarrollados en Álgebra por tener demasiados contenidos. La práctica del tema no siempre colabora en la comprensión del mismo. En la ejemplificación del problema teórico, la cantidad de cálculos numéricos necesarios para resolver el modelo más elemental centra la atención del estudiante en lo procedimental, alejándola de lo conceptual. Otra dificultad (seguramente relacionada con lo anterior) radica en que algunos de los contenidos, tales como Solución fundamental: la exponencial matricial, están ausentes en la bibliografía comúnmente recomendada por las cátedras. De hecho, no lo están en los dos textos más mencionados en la bibliografía de la asignatura Análisis Matemático II dictadas en distintas Regionales de la UTN: Stewart [8] y Larson y Edwards [9].

La representación geométrica de la solución encontrada necesita destreza en el trazado de la misma, química si se usan recursos tales como lápiz, papel, regla y calculadora. Es por ello, seguramente, que todas las ordenanzas que adecuaron el diseño curricular de cada una de las carreras de ingeniería de la UTN [10] (por ejemplo, 1027/2004 para Ingeniería Mecánica, pág. 41) explicitan para la asignatura Análisis Matemático II: “Se usarán en las prácticas paquetes de computación que permitan cálculos numéricos

y simbólicos con capacidad gráfica. En el caso de EDO se instruirá al alumno en el uso de un paquete interactivo que permita la simulación y el análisis de los resultados”.

Es así que se desarrolló una aplicación interactiva capaz de realizar simulaciones de modelos matemáticos de sistemas dinámicos bidimensionales de variable continua autónomos y no autónomos, para utilizarla como recurso didáctico digital: DaVinci. Técnicamente, es código embebido en una página html que se ejecuta en cualquier navegador web. Está construida en la plataforma Descartes5 y utiliza el intérprete DescartesJS, ambos desarrollados en forma conjunta por la Universidad Autónoma de México y la red Educativa Digital Descartes de España. DaVinci puede ser usado en cualquier plataforma de hardware: notebooks, tablets y smartphones, por lo que es apropiado tanto para el uso en el aula como para actividades extra áulicas posibilitando la autogestión de aprendizajes y que los alumnos logren mejorar el nivel de comprensión.

A través de ejemplos donde se visualiza la trayectoria  $x = x(t); y = y(t)$  que seguirá una partícula suelta en el punto  $P(x_0, y_0)$  en un campo de velocidades estacionario  $\vec{v}(t) = x' \vec{i} + y' \vec{j}$  (1), se pide relacionar autovalores de la matriz del sistema, órbita, series de tiempo y tipo de equilibrio.

$$\begin{cases} x'(t) = f(x, y) \\ y'(t) = g(x, y) \\ x(t_0) = x_0 \\ y(t_0) = y_0 \end{cases} \quad (1)$$

Las Fig. 1 y 2 muestran dos tipos de pantallas, una en modo ejemplo de un sistema lineal autónomo y otra en la que el usuario puede introducir un sistema lineal o no lineal autónomo o no.

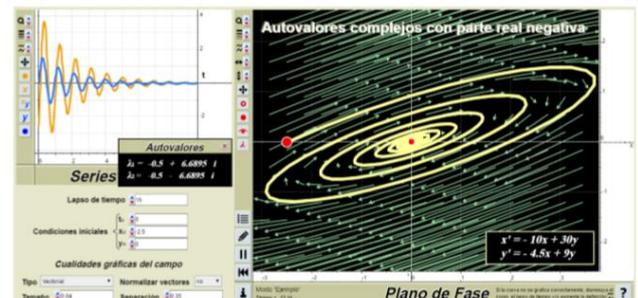


Fig. 1: Pantalla de DaVinci 2.0 en modo ejemplo.

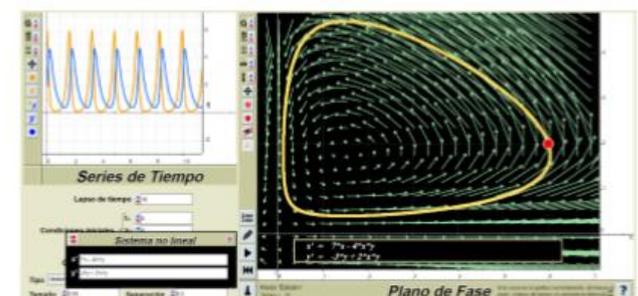


Fig. 2: Pantalla de DaVinci 2.0 en modo edición.

Las simulaciones permiten aprehender el concepto de sistema no autónomo. Cuando el docente explica que este tipo de sistemas tiene órbitas dependientes del valor de  $t_0$ , los alumnos pueden verificarlo graficando la órbita del sistema mediante una animación, particularizando para distintos  $t_0$ .

#### IV. ALGUNOS RESULTADOS

Si bien estamos en las primeras etapas de la investigación (identificar los contenidos medulares que posibiliten la articulación horizontal y/o vertical, explorar y desarrollar objetos digitales educativos factibles de ser utilizados como recurso didáctico interactivo), las expectativas del grupo de tareas son optimistas.

El uso en el aula de la herramienta Da Vinci está actualmente hecha en carácter de prueba, por lo que no se cuentan aún con datos empíricos relacionados con resultados cuantificables, aunque si contamos con apreciaciones cualitativas tanto del equipo docente como de los alumnos.

A modo de adelanto, dado que como se dijo no se ha evaluado formalmente la utilización del objeto digital mencionado, se puede informar que, desde la visión docente, parece optimizar los tiempos. Durante el desarrollo de contenidos en el aula los alumnos apreciaron positivamente la herramienta interactiva; valoraron las bondades relacionadas al acceso del conocimiento en forma gratuita y la simplicidad de su utilización.

Actualmente se están diseñando herramientas para caracterizar la incidencia del uso del objeto digital en los niveles de la comprensión exhibidos en cada una de sus dimensiones.

#### V. RESULTADOS ESPERADOS

Mediante esta experiencia -y otras similares- pretendemos realizar un aporte a la tecnología educativa, hacia adentro y fuera de la UTN-FRSF, con la intención de contribuir a satisfacer las necesidades de actualización y mejora del proceso enseñanza aprendizaje de los alumnos de ingeniería: elaboración de material de cátedras, publicaciones en congresos y revistas, realización de trabajos de extensión, capacitaciones y cursos a la comunidad.

A través de la transferencia y publicación de los resultados procuraremos que el análisis de casos pueda ser el puntapié inicial de estudios similares en otras instituciones educativas.

El estudio permitirá enriquecer la formación de los recursos humanos que participarán en el mismo, haciéndolo extensivo a los alumnos de las cátedras afines.

Consideramos que esta investigación es un aporte para docentes y alumnos, investigadores en formación, pues los ayuda a resolver problemas, razonar y hacer conexiones, exponiéndolos a numerosas y diversas experiencias interrelacionadas que los alientan a desarrollar hábitos mentales, a comprender y valorar el papel de la investigación.

El uso de tecnologías emergentes los moviliza a explorar, calcular y hasta cometer y corregir errores. Esperamos que esto mejore la capacidad para resolver problemas complejos; conjeturar, probar y construir argumentos sobre la validez de una conclusión. Estas habilidades son necesarias y deberían requerirse en todos los espacios educativos pero más aún en la Universidad, en donde se modelan y generan los futuros profesionales, quienes, indudablemente, además de una adecuada formación científica deben estar capacitados para comunicar eficazmente, coordinar equipos, tomar decisiones sostenibles, resolver conflictos interpersonales, negociar, acordar, etc.

#### REFERENCIAS

- [1] T. Blythe y colaboradores. *La enseñanza para la comprensión. Guía para el docente*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1999.
- [2] L. Ligouri en *Tecnología Educativa. Política, historias y propuestas*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1999.
- [3] J. Cabero y M. Llorente, *Las TIC y la Educación Ambiental*, en *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, vol. pp. 12-15, 2005
- [4] G. Veletsianos, *A Definition of Emerging Technologies for Education en Distance Education* (pp. 3-22). Athabasca: Athabasca University Press, 2010. Consultado en febrero 2011 en <http://bit.ly/cPIPqd>
- [5] M. Stone Wiske, *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1999.
- [6] M. Stone Wiske, *Enseñar para la Comprensión con Nuevas Tecnologías*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 2005
- [7] M. Artigue y otros. *Ingeniería Didáctica en Educación Matemática*. México: Grupo Editorial Iberoamericano, 1998.
- [8] J. Stewart, "Cálculo de varias variables. Trascendentes Tempranas" 7° edición. México: Editorial Cengage Learning Editores, 2003.
- [9] R. Larson y B. Edwards. *Cálculo. Tomo II*. 10° edición México: Editorial Cengage Learning Editores, 2015.
- [10] *Diseño curricular de la carrera Ingeniería Mecánica*. Ord. 1027/04. Consultado en <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?tipo=ORD&numero=1027&anio=0&facultad=CSU&pagina=1>
- [11] DaVinci 1.0 y 2.0. Inscripción N° 5238511. Registro de propiedad intelectual en la Dirección Nacional del Derecho de Autor. Desarrollador: Valeria Bertossi.