

# El aprendizaje de conceptos en termodinámica mediado por simulaciones computacionales: ¿cómo y cuándo?

The thermodynamic concept learning through computer simulations: when and how?

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

**Juan Velasco, Directora: Laura Buteler**

Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

**Email:** jjvelasco@famaf.unc.edu.ar

Tesis de Doctorado en curso. Doctorado de Física de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba. Inicio: mayo de 2015.

## Resumen

El plan de trabajo que se presenta tiene por objetivo específico estudiar mecanismos de aprendizaje de conceptos en termodinámica en estudiantes secundarios y universitarios, cuando éstos interactúan con simulaciones computacionales de fenómenos térmicos. Más concretamente, intentará develar qué características de las simulaciones intervienen, y cómo lo hacen, en los cambios conceptuales experimentados por esos estudiantes durante la interacción con ellas.

Este plan de trabajo se inserta en una línea de investigación más amplia, actualmente en desarrollo en el Grupo de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, de la Universidad Nacional de Córdoba. Investigadores pertenecientes a este grupo, y también al Instituto de Física Enrique Gaviola (CONICET-FaMAF), están trabajando para comprender cómo y cuándo ocurren progresos conceptuales durante la resolución de problemas de física, en poblaciones de estudiantes universitarios y secundarios. El objetivo a largo plazo de estas investigaciones es el de generar criterios de enseñanza para ser implementados en distintos contextos de enseñanza de la física dentro de nuestro sistema educativo.

**Palabras clave:** Simulaciones computacionales; Aprendizaje de conceptos; Enseñanza de la física; Termodinámica.

## Abstract

The main purpose of this project is to study students' learning process of thermodynamic concepts while they interact with computer simulations. In particular, this work intends to highlight what features of simulations intervene in conceptual change and how.

This project is part of a larger research program at Enrique Gaviola Institute, National University of Córdoba (CONICET-FaMAF). This group is interested in understanding when and how conceptual progress takes place during problem solving in undergraduate and high-school students. The long-term goal of this research is to provide knowledge that can inform Physics teaching at different stages in our education system.

**Keywords:** Computer simulations; Learning concepts; Physics education; Thermodynamics.

## I. ANTECEDENTES

La investigación referida al uso de distintos artefactos tecnológicos para promover aprendizajes ha cobrado fuerza en las últimas décadas debido, fundamentalmente, al crecimiento exponencial de las nuevas tecnologías, como al de su incorporación a nuestra vida cotidiana. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación no sólo son *per se* bienes preciados de nuestra cultura, razón por la cual constituyen un contenido a ser enseñando dentro del sistema educativo argentino, sino que están siendo incorporadas como herramientas didácticas para la enseñanza de contenidos científicos. En este sentido, numerosos trabajos de investigación, con relación a cómo incorporar artefactos tecnológicos como recur-

so didáctico a ser utilizado durante la enseñanza de distintas disciplinas, están siendo producidos en nuestro país y en el mundo entero.

La investigación en enseñanza y aprendizaje de la Física no se aparta de esta tendencia local e internacional. En este ámbito, la inclusión de simulaciones en experiencias didácticas ha sido justificada por sus bondades para el aprendizaje, a saber: el uso de simulaciones promueve una participación activa por parte del estudiante durante el aprendizaje (Christian, 2001), sustenta entornos de trabajo colaborativo (Tam, 2000), es superador con relación al uso de las representaciones externas pictóricas o verbales porque son dinámicas (Kozma y Russell, 1997), su inclusión aumenta la motivación de los estudiantes por aprender y soporta actividades de indagación científica (Christian, 2001), entre muchas otras. Sin embargo, la literatura arroja algunas evidencias conflictivas al respecto. Por ejemplo Otero et al. (2003) realizaron un estudio en el que compararon dos grupos, uno de los cuales utilizaban aplicaciones (*applets*) para que los estudiantes predigan y observen distintos fenómenos durante la enseñanza de movimiento oscilatorio, mientras que el otro grupo no utilizaba esta herramienta. Los resultados no arrojaron diferencias en el desempeño de esos dos grupos al finalizar la etapa de instrucción. Lee et al. (2004) investigaron si la posibilidad de modificar los parámetros de la simulación tiene como consecuencia un desarrollo de la intuición física y una mejora en la habilidad para resolver problemas. Por medio de comparación entre dos grupos, concluyeron que esa posibilidad no promovía ni desarrollo de la intuición física ni una mejora en la habilidad para resolver problemas. Esta ambivalencia de resultados muestra un panorama algo caótico no sólo por los resultados que arroja, sino también porque éstos provienen de estudios muy disímiles entre sí. El plan de trabajo que se presenta intentará, entre otras cosas, clarificar el estado actual del arte sobre esta problemática.

Esta breve reseña, que está lejos de ser exhaustiva, muestra falta de consenso con relación a cuándo y cómo el uso de simulaciones promueve aprendizajes de conceptos y prácticas científicas. Orit Parnafes (2007), realiza una contribución original a esta problemática, describiendo algunos avances en la comprensión de los conceptos de velocidad y frecuencia en el contexto del movimiento oscilatorio por parte de estudiantes secundarios mientras interactuaban con representaciones computacionales. Su aporte es novedoso por dos razones: a) se aparta del estilo “antes y después” que caracteriza a gran parte de las investigaciones ya realizadas, que no permiten entender por qué algunas intervenciones didácticas utilizando simulaciones son –o no– exitosas, y b) utiliza una teoría de aprendizaje de conceptos, no para prescribir los “beneficios” de las simulaciones para el aprendizaje a priori, como también ocurre a menudo en la literatura, sino para registrar cuáles aprendizajes conceptuales efectivamente ocurren –o no– durante el uso de la simulación.

Por otra parte, el grupo de investigación al que se incorporará Juan Velasco, ha estado trabajando sobre el desarrollo conceptual de estudiantes de física durante la resolución de problemas de lápiz y papel. Buteler y Coleoni (2014a) estudiaron cómo el uso de ecuaciones durante la resolución de un problema de empuje, contribuye al refinamiento de la intuición física de los estudiantes involucrados en el estudio. También Buteler y Coleoni (2014b) interpretaron por qué un grupo de estudiantes resolvió normativamente un problema utilizando el concepto de empuje y tuvo dificultades al intentar resolver otro a partir de ese mismo concepto. Baudino y Coleoni (2013), investigaron cómo distintas definiciones operacionales de aceleración en el contexto de movimiento circular, contribuyeron al desarrollo de este concepto durante una clase teórico-práctica de mecánica introductoria. Buteler, Coleoni y Perea (2014), describieron cómo un grupo de estudiantes realizaron progresos con relación al concepto de empuje a partir de ciertas dificultades encontradas durante la resolución de tres problemas de hidrostática, capturando así algunos aspectos de la dinámica de aprendizaje y su relación con las características contextuales de los problemas. Estas contribuciones se realizaron a partir de un marco teórico desarrollado por diSessa y Sherin (1998) y diSessa y Wagner (2005), denominado Teoría de Clases de Coordinación.

La Teoría de Clases de Coordinación se enmarca dentro de la perspectiva de “conocimiento en piezas”. Según ésta, un concepto es un conjunto (o clase) de muchos elementos relacionados de múltiples maneras cuya función primordial es “permitir a las personas leer cierta clase particular de información desde una variedad de situaciones en las que el concepto es útil en el mundo real”. De hecho, para que tal lectura pueda hacerse desde variados contextos, la clase debe incluir elementos con especificidades contextuales. Cada concepto define cuál es esa clase particular de información. Esta información distintiva podría ser: a) el punto de aplicación, la magnitud y dirección para fuerza, o b) el número asociado a un par de puntos en el espacio- tiempo (que satisfacen la relación especial llamada tipo tiempo) y que se denomina tiempo propio.

La arquitectura de una clase de coordinación incluye dos elementos: las estrategias de lectura y la red causal. Las personas a menudo no somos capaces de relevar de manera directa la información distintiva de una clase. Las estrategias de lectura son las que permiten a las personas a poner la atención en cierta información que está relacionada de alguna forma a la información distintiva de esa clase. La red causal consiste en el conjunto de inferencias que se realizan desde la información relevada por las estrategias de

lectura hasta la obtención de la información distintiva. Los procesos genéricos que construyen una clase de coordinación son la incorporación y el desplazamiento. Incorporar es reclutar elementos de conceptualizaciones previas para contribuir parcialmente al desarrollo del nuevo concepto. Desplazar es desestimar elementos de conceptualizaciones previas que pueden inicialmente e inapropiadamente formar parte de las estrategias de lectura o de la red causal de esa clase. Las dificultades características que los estudiantes encuentran en la construcción de una clase de coordinación son dos: el problema de la extensión y el problema del alineamiento. El problema de la extensión se refiere a lograr reclutar elementos capaces de cubrir un amplio rango de contextos en los cuales ese concepto es aplicable. La teoría prevé que “implementar” o “usar” un concepto puede requerir usar diferente conocimiento en diferentes situaciones. El conocimiento particular usado en una aplicación específica del concepto se denomina proyección del concepto o proyección de la clase. El problema del alineamiento se refiere a ser capaz de determinar la misma información distintiva del concepto desde distintos contextos en los que ese concepto es aplicable. Es obtener la misma información distintiva de cada una de las proyecciones realizadas. Lo anterior permite inferir que los contextos son importantes para la teoría de clases de coordinación en dos sentidos. Ellos constituyen los “lugares” en los que se hace considerable trabajo para compilar un concepto a fin de que logre mayor expansión y mejor alineamiento. Por otra parte, los contextos también son los “lugares” en los que se cristalizan las diferentes proyecciones, cuyas partes permanecen como elementos de la clase en el desarrollo de la experticia.

Este plan de trabajo propone contribuir a la confluencia de dos líneas de investigación: el desarrollo de conceptos o cambio conceptual, y la incorporación de simulaciones en la enseñanza, situándose en el ámbito de la termodinámica. Si bien el grupo de investigación al que se incorporará Juan Velasco está trabajando en la primera de las líneas de investigación nombradas, lo ha hecho en tópicos de hidrostática, de mecánica y de electromagnetismo (Perea, Tesis Doctoral en curso). El trabajo de Velasco permitiría cubrir un tópico hasta ahora no abordado por este grupo, y a la vez incorporar una temática actualmente muy discutida en educación, como es la incorporación de nuevas tecnologías en el aula.

Sobre la base de que las simulaciones computacionales son herramientas potencialmente útiles para el aprendizaje de conceptos (hipótesis de trabajo), se intentará develar qué características de las simulaciones intervienen, y cómo lo hacen, en los cambios conceptuales experimentados por esos estudiantes durante la interacción con ellas. Se utilizará la Teoría de Clases de Coordinación para registrar los desarrollos conceptuales.

## **II. METODOLOGÍA**

Dado el propósito de este estudio y la naturaleza de la información que se pretende reunir, se propone utilizar técnicas del análisis microgenético (Schoenfeld et al., 1993). El diseño es microgenético porque se proponen estudios de casos que permitirán especificar cómo y cuándo acontecen los cambios que se pretenden registrar. Los diseños microgenéticos son la herramienta más idónea para estudiar el desarrollo cognitivo, en tanto arrojan luz para dilucidar procesos y los factores que los favorecen u obstaculizan. Los registros principales consistirán en filmaciones de grupos interactuando con simulaciones específicamente seleccionadas y/o adaptadas para las entrevistas. Esta técnica de entrevistar de a grupos (de dos o tres personas) tiene dos ventajas respecto de las entrevistas individuales. Una de ellas es que disminuye el nivel de “artificialidad” del ambiente de la entrevista individual, en el que a menudo los estudiantes se guían por el principio de autoridad y por las supuestas expectativas del entrevistador, más que por sus propias ideas. Los estudiantes no reconocen el principio de la autoridad en sus pares y son más críticos con los razonamientos y respuestas de sus compañeros. La otra ventaja es que entre ellos se plantean discusiones que provocan mejores y más extensas verbalizaciones.

## **III. ACTIVIDADES PREVISTAS**

### **A. Primera etapa**

Revisión bibliográfica exhaustiva en relación con dos líneas de investigación: i) uso de simulaciones en la enseñanza de la física y ii) aprendizaje y enseñanza de fenómenos térmicos. En función de esa revisión, se realizará un análisis de los aspectos problemáticos durante el aprendizaje de termodinámica, así como las características de las simulaciones que puedan representar esos aspectos problemáticos. Búsqueda en la web/bibliografía de simulaciones que pueden ser utilizadas y/o adaptadas para abordar el problema de investigación. Esto necesariamente implicará una selección de los conceptos termodinámicos sobre los que se trabajará. Paralelamente se prevé la asistencia y aprobación de un curso de posgrado. Selec-

ción/adaptación/construcción y puesta a prueba de la simulación con la que se trabajará. Preparación de los protocolos de entrevista que se utilizarán. Realización de un curso de posgrado y dictado de un seminario de doctorado. Tiempo estimado: 18 meses.

### **B. Segunda etapa**

Puesta a prueba de los protocolos mediante la concreción de algunas entrevistas exploratorias. Ajuste final de los protocolos. Selección de los grupos (niveles secundario y universitario). Se prevé trabajar con estudiantes de Física de FaMAF y con estudiantes de la Escuela Manuel Belgrano de la UNC. Se cuenta con el consentimiento de varios docentes de ese establecimiento para este fin. Concreción de las entrevistas (cinco grupos en cada nivel). Transcripciones de las entrevistas. Revisión de la Teoría de Clases de Coordinación y análisis preliminar de las transcripciones. Realización de dos cursos de posgrado y dictado de un seminario de doctorado. Tiempo estimado: 18 meses.

### **C. Tercera etapa**

Análisis exhaustivo de algunas transcripciones (seleccionadas en la etapa anterior) para la detección provisoria de posibles mecanismos de aprendizajes asociados al uso de las simulaciones. Análisis de la extensión de tales mecanismos a la totalidad de entrevistas. Ajustes de la construcción teórica vía una revisión por pares. Presentación de resultados preliminares en reuniones científicas de educación en física (SIEF, REF, etc.) Preparación de dos seminarios de doctorado exigidos por la carrera de doctorado de FaMAF. Tiempo estimado: 12 meses.

Cuarta etapa: Presentación preliminar de un bosquejo de los capítulos de la tesis. Correcciones y ajustes. Redacción de la versión definitiva. Defensa oral. Tiempo estimado: 12 meses.

## **IV. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PRIMER PERÍODO (Mayo 2015 – Julio 2016)**

Al tratarse de una nueva línea de investigación en el GECyT, durante el primer período, el trabajo estuvo fuertemente orientado a la revisión bibliográfica del estado actual del campo de conocimiento en el área.

Se realizaron dos revisiones en paralelo: una dirigida a explorar los artículos más relevantes en enseñanza de la termodinámica y otra a estudiar el conocimiento actual respecto del uso de simulaciones computacionales en educación en física. La primera permitió identificar las principales dificultades en el aprendizaje de ciertos conceptos en el campo de la termodinámica. De la segunda revisión, se encontró que el uso de simulaciones computacionales en instancias de aprendizaje ha sido ampliamente estudiado durante los últimos años.

Es posible encontrar una gran variedad de artículos publicados que abordan las más diversas facetas del área. Se clasificó y analizó la información de más de 60 artículos. De ese trabajo se confeccionó un artículo que actualmente se encuentra en estado de evaluación (“Simulaciones Computacionales en enseñanza de la Física: una revisión crítica de los últimos años” *Revista Enseñanza de las Ciencias*, Universidad Autónoma de Barcelona). La principal conclusión que se extrajo de este trabajo fue la deficiencia de estudios orientados al análisis del proceso de aprendizaje mediado por programas computacionales. Se encontró una fuerte tendencia a estudiar el impacto del uso de los mismos, con una superpoblación de trabajos con metodologías pre-postest (prueba comparativa antes y después de una secuencia de instrucción) que no permiten dilucidar qué sucede durante el aprendizaje con simulaciones. Es así, que en esta etapa se detectó una zona de vacancia en el campo de conocimiento donde esta tesis doctoral se orientará a contribuir.

Posterior a este trabajo, se seleccionó un concepto en particular dentro de la termodinámica considerando las diversas dificultades que presenta en la enseñanza en tiempos actuales: la entropía. Además de detectar diversas dificultades en el aprendizaje de este concepto, se encontró cierta carencia de herramientas didácticas que colaboren en su enseñanza, en particular de simulaciones computacionales. Se analizan los principales programas en relación con este concepto, se estudian problemas y situaciones que permitan analizar el desarrollo conceptual.

Actualmente se está trabajando en preparar y diseñar el experimento para realizar el estudio. El mismo constará de entrevistas a grupos de estudiantes durante la resolución de un problema y la interacción con simulaciones computacionales. El fin del experimento es poder analizar el desarrollo conceptual de los entrevistados y el rol de la simulación didáctica en el progreso conceptual.

## REFERENCIAS

- Baudino, N. y Coleoni, E. (2013). Learning acceleration in class: Understanding the effort it entails. *Foundations and Frontiers in Physics Education Research Conference*, Maine, Bar Harbor, junio de 2013.
- Buteler, L. y Coleoni, E. (2014a). Exploring the Relation Between Intuitive Physics Knowledge and Equations During Problem Solving. *Electronic Journal of Science Education*, 18(2), 1-20.
- Buteler, L. y Coleoni, E. (2014b). El aprendizaje de empuje y sus variaciones contextuales: Un análisis de caso desde la teoría de clases de coordinación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 135-155.
- Buteler, L., Coleoni, E., y Perea, A. (2014). Aprendiendo empuje durante la resolución de problemas: Un análisis desde la Teoría de Clases de Coordinación. *Enseñanza de las Ciencias*. En prensa.
- Christian, W. (2001). Physlets. Java Tools for a Web-Based Physics Curriculum. *Proceedings of the International Conference on Computational Science*, Portoroz-Slovenia, 1061-1073.
- diSessa, A. y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- diSessa, A. y Wagner, J. (2005). What Coordination Has to Say About Transfer. En J. Mestre (Ed.). *Transfer of Learning: From a modern multidisciplinary perspective*. Greenwich: Information Age Publishing.
- Kozma, R. B. y Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representation of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.
- Lee, K., Nicoll, G. y Brooks, D. (2004). A comparison of inquiry and worked example web-based instruction using physlets. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 81-88.
- Otero, M.R.; Greca, I.M. y Lang De Silveira, F. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(1).
- Parnafes, O. (2007). What Does “Fast” Mean? Understanding the Physical World Through Computational Representations. *The Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 415-450.
- Perea, A. (2014). Informe de avance de tesis doctoral “Intentando describir los cambios en la intuición física hacia un conocimiento normativo en la resolución de problemas de física”. Doctorado en Educación, Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba. En curso.
- Schoenfeld, A., Smith, J. y Arcavi, A. (1993). Learning: The Microgenetic Analysis of One Student's Evolving Understanding of a Complex Subject Matter Domain. En Glaser (Ed.) *Advances in Instructional Psychology*, Vol. 4. NY: Erlbaum.
- Tam, M. (2000). Constructivism, Instructional Design, and Technology: Implications for Transforming Distance Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 3(2), 50-60.