

# Estrategias didácticas con simulaciones interactivas sobre temas de Física de materiales para la formación de ingenieros

Susana Marchisio, Oscar Von Pamel, Jorge C. Ronco, Miguel A. Plano  
*Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*  
*Universidad Nacional de Rosario (FCEIA-UNR) - Argentina*

## Abstract

*Los autores han identificado serias dificultades para la comprensión del tema Estadística de Fermi en cursos de Física para Ingeniería destinados a proveer el cuerpo de conocimientos básicos de la ciencia de los materiales y acercar a los alumnos al mundo de los dispositivos electrónicos elementales. Entendido como un recurso didáctico que se integra en un entorno de aprendizajes a los fines de facilitar los procesos poniendo en juego estrategias específicas se desarrolló un programa de simulación que aborda el tema en cuestión. En este trabajo se discute el marco teórico, se describen las cuestiones básicas de su diseño y se propone un enfoque para su integración en el contexto de enseñanza, articulando su uso con el de otras simulaciones diseñadas por los autores para la enseñanza de contenidos de Física Cuántica.*

## Palabras Clave

Simulaciones – estrategias didácticas - Tics – Ciencia y tecnología de materiales – dispositivos electrónicos

## Introducción

La Física de los materiales de estado sólido es de desarrollo relativamente reciente. La mayor parte de su cuerpo de conocimiento se ha instituido a partir del primer cuarto del siglo XX, una vez que la Física Cuántica y la Física Estadística en las que se sustenta, estuvieran estructuradas. En breve síntesis, y en el marco del estudio de los materiales, podría decirse que la Física cuántica aporta a aquélla el conocimiento de los estados en que es posible encontrar a los electrones en los materiales y su organización en bandas de energía, mientras que la Física Estadística da cuenta de la probabilidad que tienen esos estados cuánticos de estar ocupados; para ello se sirve de la formulación estadística de Fermi-Dirac. Entre otros resultados, esta estadística cuántica introduce el llamado

nivel o energía de Fermi que es característico de cada estructura material.

Al respecto, cabe enfatizar acerca de la importancia que tiene el estudio de la contribución de los electrones a las propiedades de los sólidos a los fines de comprender el comportamiento de los dispositivos electrónicos.

En el contexto de las enseñanzas de ingeniería, estos contenidos son trabajados en asignaturas que por lo general, no sólo están destinadas a proveer el cuerpo de conocimientos básicos de la ciencia de los materiales y a acercar a los alumnos al mundo de los dispositivos electrónicos elementales, sino que a partir de la tendencia a la reducción de la duración de las carreras, deben introducir a los alumnos en el paradigma de la Mecánica Cuántica, no siempre abordada con anterioridad en los currícula. Junto a ello, en un contexto de desarrollo e innovación sustentado en el paradigma electrónico, nuevas formas de producción y desarrollo de las industrias del conocimiento [1], se reclama proveer una formación profesional relevante y contextualizada, proporcionada tanto en la institución universitaria como en el espacio de trabajo, pero sostenida a la vez, por un núcleo sólido con importante peso específico en ciencias básicas, que capacite al ingeniero para adaptar y asimilar tecnologías emergentes.

Entendiendo por otra parte, que la integración de recursos informáticos para la recreación virtual de ambientes educativos puede, con ciertos requisitos [2], [3], [4], [5] colaborar en la generación de mejores condiciones para el establecimiento de los procesos cognitivos requeridos, los autores, han trabajado, sobre contenidos de ciencia

de materiales, en el diseño, realización, evaluación y empleo didáctico de recursos informáticos, de tipo simulaciones y obra multimedia.

En este trabajo se describen y fundamentan las bases que orientaron el diseño de una simulación interactiva integrable en un sistema multimedia, en relación con la Estadística de Fermi - Dirac, para su integración curricular en el marco de cursos de Física de materiales para estudiantes de ingeniería.

### **Antecedentes con base en lo psicológico, cognitivo y comunicativo - didáctico como sustento del marco teórico**

Resultados de investigaciones didácticas realizadas en el contexto de dictados de Física de materiales y de dispositivos electrónicos para la carrera de Ingeniería Electrónica (Universidad Nacional de Rosario) revelaron la existencia de serias dificultades para la comprensión de contenidos tales como la formulación estadística de Fermi - Dirac y la ecuación de Schrodinger.

Al respecto, es posible afirmar que no existen aún suficientes investigaciones didácticas en el área de la enseñanza de la Física estadística aplicada al estudio de materiales. En parte abonan al conocimiento del campo, los estudios en relación con los aprendizajes de la Física Cuántica, de la estructura de la materia y las investigaciones sobre los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje de la estadística.

Desde nuestra perspectiva, las mayores dificultades que manifiestan los alumnos en relación con el aprendizaje de la Estadística de Fermi, pueden atribuirse a:

- La existencia de obstáculos cognitivos para la comprensión de los conceptos de aleatoriedad y probabilidad así como para la interpretación de gráficos
- La naturaleza anti-intuitiva de la Física Cuántica, destacando el abandono del determinismo clásico, de las leyes elementales individuales de las

partículas elementales y el estudio de la estructura de la materia

- El relativamente escaso interés del alumno de Ingeniería en el estudio de contenidos de fundamentación científica para la comprensión del comportamiento de dispositivos electrónicos

Con aportes al problema del aprendizaje de conceptos de naturaleza estadística, existen publicaciones provenientes de la psicología [6], del dominio de la educación matemática y, más precisamente, de la didáctica de la estadística [7]. Los mismos dan cuenta, entre otros, de la existencia de un gran cuerpo de investigaciones sobre el problema del razonamiento estocástico [8] y probabilístico [9] y sobre la comprensión del lenguaje gráfico empleado para la representación de fenómenos estadísticos [10].

Por otra parte, distintos autores [11], [12], [13] abordan el problema del aprendizaje de la Física Cuántica desde distintas perspectivas teóricas, enfatizando en la intangibilidad del dominio y la necesidad de cambios de paradigma, la necesidad de resignificación de conceptos y modelos. Existen asimismo conocidas investigaciones que dan cuenta de las dificultades asociadas al estudio de la estructura de la materia. Con especial significación para este trabajo, se destaca que uno de los obstáculos fundamentales para los estudiantes subyace en la representación de lo no observable. En relación en ello, distintos autores [14], [15], concluyen acerca de la necesidad de emplear imágenes de las interacciones atómicas y moleculares u otro tipo de representaciones analógicas para mejorar el aprendizaje.

En relación con el relativamente escaso interés de los alumnos de Ingeniería en el estudio de contenidos de fundamentación científica en ciencias y tecnologías de materiales, los estudios [16], [17] enfatizan en la necesidad de motivar, destacándose que por lo general, el alumno que elige

estudiar Ingeniería se muestra mucho más interesado en realizar actividades de manipulación de dispositivos electrónicos y en el análisis de sus características técnicas y aplicaciones, que en el estudio de los conocimientos científicos fundamentales.

Otros autores [18] mencionan el efecto motivador y hasta placentero que parecen tener ciertas imágenes externas en los estudiantes cuando emplean simulaciones en el aula de Física. Las experiencias previas desarrolladas por el equipo de autores de este trabajo con el empleo de animaciones, simulaciones y sistemas multimedia [19], [4] permiten dar fuerza a esta afirmación. Desde nuestra perspectiva la motivación y el interés son ingredientes esenciales en un aprendizaje significativo. Otros autores [20] destacan la importancia de estos aspectos, en tanto recae en el alumno la toma la decisión personal de estar implicado en el aprendizaje de un determinado tema, confluyendo en ello el interés por la tarea, el valor percibido en la realización de la misma y la utilidad del conocimiento, la relación con el profesor, la autoeficacia y el ambiente social.

Por otra parte, es sabido que el empleo de imágenes visuales como recurso para la enseñanza de las Ciencias se ha ido intensificando en los últimos años con la incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC's) en el aula. En su gran mayoría, las investigaciones dan cuenta de mejoras cualitativas en el proceso de enseñanza; sin embargo, no hay demasiada evidencia empírica, en la cual se destaque que la mera incorporación de imágenes fijas y en movimiento en el aula de Física haya revelado mejoras en el rendimiento académico. Al respecto, se destacan los resultados de una investigación realizada [20] sobre la influencia del empleo de imágenes visuales en el aula en el rendimiento medio escolar en Física, medido éste en términos de mejores descripciones, explicaciones y predicciones. Desde el marco teórico de los modelos mentales estos autores [21] advierten que el

mero uso del modo demostrativo de imágenes a los fines de la simple creación de un ambiente visual parece ser insuficiente, aún cuando se empleen para ello, interesantes programas de simulación.

En lo que respecta a la experiencia previa de los autores de este trabajo en el uso de simulaciones para la enseñanza de la Física Cuántica [4], puede afirmarse que a través de la producción de los alumnos en actividades de evaluación formativas planteadas como problemas abiertos, se han hecho evidentes ciertas diferencias entre el tipo de argumentaciones expuestas por quienes emplearon el recurso respecto a otros que estudiaron sólo con materiales tradicionales. A nuestro juicio, esto está ligado a la ampliación del campo de lo sensible frente a lo abstracto, lo cual supone un cambio en las estrategias de resolución

Así, en el empleo de este tipo de recursos para el aprendizaje, es necesario enfatizar tanto los requisitos del sujeto, sus procesos, habilidades, esquemas de conocimiento, modelos mentales y estrategias, como los requisitos propios de un entorno que posibilite una verdadera interactividad educativa, entendida como un proceso conjunto, compartido, que tiende progresivamente a promover en forma directa o mediada la autonomía en la resolución de las tareas, en la aplicación de conceptos, en la puesta en práctica de actitudes reflexivas y proactivas, permitiendo al aprendiz, un doble itinerario: hacia la significación de los contenidos y hacia la representación mental de los mismos [22], [23].

En este contexto, identificamos a las simulaciones o programas interactivos como instrumentos mediadores potencialmente aptos para favorecer la observación a voluntad de representaciones de fenómenos físicos, analizar la evolución de magnitudes, promover a través del desarrollo de actividades específicas que las involucren, el planteo de hipótesis, el control de variables, la resolución de problemas, en condiciones de intercambio cooperativo con profesor y pares, a la vez

colaborador del diálogo – negociación que se establece entre las representaciones externas e internas de los sujetos. Su empleo debe superar la idea que con ellos se enseña lo mismo que antes, pero de una manera más eficiente. Para aprovechar la enorme potencialidad de estas tecnologías es necesario realizar un profundo reencuadre pedagógico de las actividades de enseñanza, lo cual abarca objetivos generales, contenidos específicos y metodologías [5]. El educador debe conocer el recurso para poder abstraer de él la esencia de su potencial, para realizar un análisis crítico de lo que el mismo posibilita y/o inhibe en términos de aprendizajes, incorporando como elementos de reflexión docente, contenidos, estrategias, tareas, la potencialidad de los recursos, las estructuras de conocimiento, el contexto social, áulico e institucional [24].

#### **La simulación en el contexto curricular**

Existen en relación con la temática abordada applets de java realizados por otros autores, accesibles en Internet [25]; sin embargo, el objetivo en este caso fue el desarrollo de una simulación que se adaptara específicamente al enfoque y objetivos de enseñanza de la asignatura Física IV.

Como se ha expresado, la experiencia de los autores, en carácter de docentes de la asignatura, en lo que respecta al diseño y uso de recursos informáticos para la enseñanza, no es nueva. En particular, el empleo de la simulación de la Ecuación de Schrödinger [19], desarrollada respetando la estructura (jerarquización conceptual y secuenciación) de contenidos de la asignatura, había mostrado la potencialidad del recurso para favorecer en los alumnos el establecimiento de puentes cognitivos entre los conceptos básicos de la Mecánica Cuántica y la justificación del modelo de bandas en la formación de cristales.

Atendiendo a ello, y con miras a una integración de recursos en un entorno hipermedial, se decidió su realización en lenguaje Visual Basic. Se ha buscado

además que a partir de la generación de pequeños programas ejecutables, se habilite su incorporación en documentos de hipertexto educativos en soporte CD, para su empleo en el marco de dictados presenciales y b-learning, sin descartar, incluso, su consideración, para un eventual cursado totalmente a distancia.

Reconociendo las diferencias individuales de los alumnos en lo que respecta a la existencia de particulares estilos cognitivos y de aprendizaje [26] la simulación gráfica en el contexto de la asignatura se concibe como un recurso más, junto al empleo de materiales escritos, recursos de Internet (sitios, e-mail, lista electrónica), videos, prácticas en laboratorio y otras actividades grupales e individuales de lápiz y papel, en una forma de dictado en la que el docente asume roles de organizador de las tareas, poniendo a disposición de los alumnos problemas relevantes y amplitud de los recursos, coordinador y orientador de los procesos, generador de situaciones [27] de aprendizaje.

Atendiendo a la especificidad de cada contenido la simulación debe:

- Ser fácilmente integrable como un recurso flexible del currículum, atendiendo a las características del enfoque disciplinar, objetivos didácticos y estrategias comunicativas.
- Poseer un escenario visual que reúna en formato de imágenes, representaciones plausibles para su aplicación en el estudio de la ciencia y tecnología de los materiales y de los dispositivos electrónicos adecuadamente integrado a los objetivos de enseñanza
- Posibilitar la interactividad educativa, favoreciendo al mismo tiempo el acceso a la exploración, la manipulación de relaciones, la hipotización, la modelización.

Es claro además que hay que tener especial cuidado con las características que asume el modelo que subyace en la programación, a los fines de no alentar el aumento de

conexiones tendientes a reforzar significados de un conocimiento preexistente alejado de una estructuración aceptada científicamente.

En relación con el enfoque de la enseñanza de los dispositivos electrónicos, la organización de los contenidos curriculares y su secuenciación didáctica [28] en el que se inserta la simulación se fundamenta en lo cognitivo desde una concepción que prioriza el establecimiento de relaciones ordenadas y jerarquizadas de los conceptos involucrados [29] atendiendo a:

- La naturaleza material de los dispositivos electrónicos que da sustento a un tratamiento conceptual común;
- La gran variedad de usos y aplicaciones de los dispositivos en el ámbito de diferentes tecnologías.

Sobre esta base, el enfoque disciplinar se sustenta en el estudio de sistemas, interacciones y transformaciones, involucrando materia y energía, con la implicación unidad/diversidad, habilitando, progresivamente, desde un análisis científico, la proyección al estudio de diferentes dispositivos electrónicos.

Por otra parte, el estudio del comportamiento electrónico de estructuras materiales complejas no puede desprenderse de la Física estadística que permite analizar el comportamiento de un gran número de partículas o sistemas idénticos, en una forma estadística – probabilística, encontrando los valores más probables de las propiedades del conjunto, sin examinar en detalle los valores de estas propiedades para una partícula dada en un determinado momento. Para calcular las propiedades promedio del conjunto de partículas se necesita conocer la forma en que dichas partículas se distribuyen respecto a la energía  $E$ . Este conocimiento se logra a partir de la función de distribución  $f(E)$  que da la probabilidad de que un estado con energía  $E$  se encuentre ocupado.

En la Mecánica Cuántica las partículas son indistinguibles y poseen spin. Las partículas en la naturaleza pueden tener spin entero (0,+/-1,+/-2,..) o spin mitad de entero (+/-1/2, +/-3/2,..).

Las partículas con spin mitad entero obedecen a la distribución de Fermi-Dirac y son denominadas fermiones (ej. electrones, protones, neutrones, etc.). Un electrón sólo puede situarse en un nivel electrónico dado. Pero, dado su spin, dos electrones pueden situarse en un nivel de energía particular. Esta estadística cuántica introduce el llamado nivel o energía de Fermi característico de cada material, para la cual la función de distribución  $f(E)$  asume el valor 1/2 para cualquier temperatura.

En relación con los dispositivos de estado sólido, en su gran mayoría los mismos están constituidos sobre la base de estructuras cristalinas. Pueden ser de una o varias capas de dimensiones controladas diferentes, de materiales aislantes, conductores o semiconductores más o menos dopados, que responden a alguna tecnología de fabricación.

Cada cristal difiere del otro en cómo se controlen y combinen estas variables constructivas, generando para su uso un abanico de elementos de circuito y transductores. El diseño del simulador debe entonces contemplar esta problemática.

En el estado sólido, la descripción de todo este proceso, incorporando al análisis previo la diferenciación de los cristales según su posibilidad de conducir corriente eléctrica, se introduce a través del modelo de bandas.

El alumno llega al concepto de bandas auxiliado de un proceso de “construcción” de cristales a partir de átomos y moléculas. Junto al trabajo cooperativo con el docente y alumnos, la guía de actividades y recursos escritos, las simulaciones de la “Ecuación de Schroedinger” cumplen un rol importante.

Las Figuras 1 a 3 muestran pantallas de distintos simuladores de la Ecuación de Schroedinger [19] que permiten estudiar la

formación de bandas y los efectos en ellas por imperfecciones en la red.

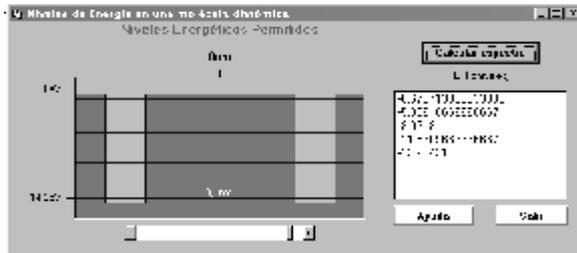


Figura 1  
Dos átomos alejados

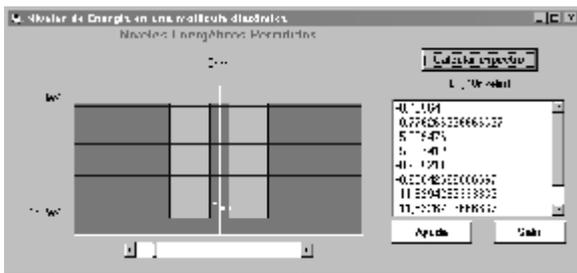


Figura 2  
Desdoblamiento de niveles atómicos en función del acercamiento de dos átomos

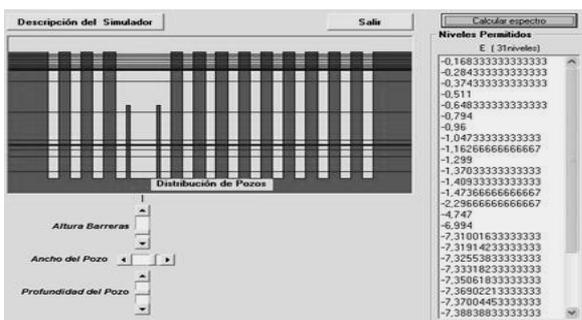


Figura 3  
Cristal unidimensional de 15 átomos. Bandas en formación y efectos de imperfecciones en la red

Auxiliados del análisis mediante el empleo de estas simulaciones se llegan a identificar bandas de valencia, conducción y gap.

La simulación de Schroedinger permite además observar el efecto del agregado de impurezas y de imperfecciones en la red sobre la estructura de bandas en condiciones cercanas al cero absoluto, así como simular aumento y disminución de distancias interatómicas facilitando la deducción del efecto de las vibraciones atómicas asociadas a un aumento en la temperatura del material.

Así, resulta sencillo introducir a los alumnos en el análisis del efecto del aumento de la energía cinética de los

átomos constituyentes de la red e inferir acerca de la “ionización” interna asociada, con la consiguiente promoción de electrones a la banda de conducción y la aparición de huecos en la banda de valencia. En el caso particular de un semiconductor intrínseco, se deduce entonces que la concentración de electrones será igual a la de huecos en condiciones de equilibrio para cada temperatura, introduciéndose así la concentración intrínseca  $n_i(T)$ .

Análisis similares relacionados con una estimación de las concentraciones de portadores, se realizan con posterioridad atendiendo a la naturaleza del material y a su estructura de bandas. Con ello se incorporan las nociones de aleatoriedad y de incertidumbre asociados al movimiento y la energía de los portadores y la necesidad de introducir la estadística de Fermi para tener información sobre su distribución; se introduce así la  $f(E) = 1 / [ 1 + e^{(E-E_F)/kT} ]$  como una función que permite estudiar la probabilidad de ocupación de estados de energía por los electrones en distintos materiales en función de la temperatura en condiciones de equilibrio.

El programa de simulación de Fermi contempla dos posibles tipos de materiales desde el punto de vista de las propiedades eléctricas: materiales conductores por un lado y semiconductores y aisladores por el otro. En la Figura 4 se observa el caso del conductor, con la representación de la probabilidad de ocupación en función de la energía, y la temperatura como parámetro. Esta representación se ajusta a cómo en el marco de la teoría se expresa la  $f(E)$ .

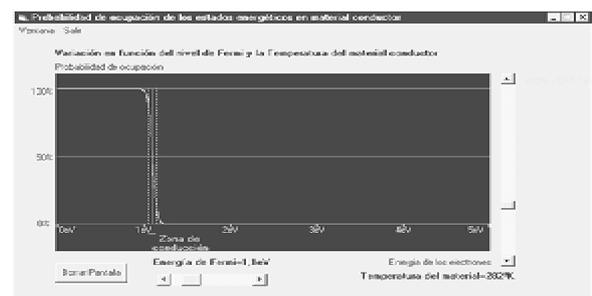


Figura. 4  
Simulador de Fermi. Caso del Material Conductor

El análisis de semiconductores y aislantes, sin existencia de estados posibles en la banda prohibida, permite luego discutir los fenómenos físicos, más allá de la estadística

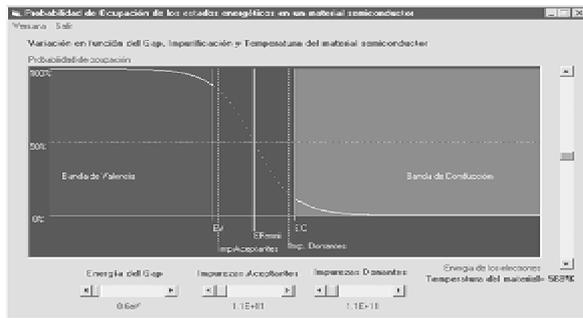


Figura. 5

Simulador de Fermi. Semiconductores y Aislantes

Se puede observar en la Figura 5 cómo en el caso del semiconductor, el programa permite variar el tipo de material (definido a través del ancho de la banda prohibida), el nivel de impurezas presente (definido por la cantidad de impurezas trivalentes y pentavalentes), y la temperatura.

A partir de ello se trabajará la función densidad de estados cuánticos en las zonas de valencia y conducción, que permitirá mostrar la cantidad de electrones en ambas bandas

## Discusión

La propuesta didáctica presentada lleva tres años de implementación con grupos pequeños de alumnos en cursos regulares de Física IV para Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional de Rosario.

Los resultados de la evaluación año a año de la misma permiten afirmar, que, desde la perspectiva del alumno se percibe claramente una reconfiguración de roles, tanto propia como del docente. El alumno valora positivamente:

- La innovación que supone la introducción de estas simulaciones desde lo que percibe como el logro de aprendizajes efectivos, a partir de la realización de pequeñas investigaciones y actividades planteadas como problemas abiertos
- La integración de estos recursos junto a los tradicionales, en una modalidad de

dictado en la que se articula el trabajo cooperativo en el aula con el empleo de la lista electrónica como soporte para la canalización de consultas, propuesta de actividades de apoyo e intercambios de información.

Por otra parte, desde la perspectiva del análisis realizado por la Cátedra, se valora cómo el alumno se atreve a proponer al docente, coopera y aporta; expresa acerca de un cambio de actitudes / motivaciones y formas de abordaje en el estudio; se asume con mayor grado de protagonismo y responsabilidad

Creemos que el estudiante debe establecer un diálogo entre este tipo de metodologías de enseñanza, empleando las TIC's como recursos para la realización de actividades de exploración y modelización, pero sin olvidar los espacios de discusión y replanteos, la problematización, la realización de exposiciones e instancias de integración, movilizados por el docente. En este contexto, es importante destacar que si estas actividades se planifican para un desarrollo exclusivo en el aula, el tiempo resulta particularmente crítico. El avance en el dictado es más lento que cuando se emplean modalidades tradicionales. De ahí que sostenemos la necesidad de flexibilizar tiempos y espacios combinando estrategias de enseñanza presenciales y a distancia [30] y actividades individuales y grupales, que permitan ampliar las oportunidades de análisis y de aprendizaje, sin descartar otros recursos didácticos, sin sustituir, sino complementar los prácticos de laboratorio y cuando resulte necesario, emplear estrategias expositivas.

Es primordial entonces contar con adecuados materiales y guías de actividades que involucren al estudiante mediante tareas de resolución de problemas, de proyecto o diseño y de investigación, u otras en las que se impliquen procesos cognitivos relevantes a su formación científica y tecnológica favoreciéndose además el desarrollo de ciertas competencias genéricas demandadas a los

ingenieros en el actual contexto mundial formativo universitario.

## Conclusión

En un contexto de formación científico profesional de ingenieros, se expusieron en este trabajo: tanto dificultades para el logro de aprendizajes significativos en el área de ciencia de los materiales, como propuestas de recursos tecnológicos diseñados ad hoc por los autores, acompañados de estrategias didácticas que, con un enfoque fundamentado desde lo disciplinar, lo cognitivo y lo comunicativo – didáctico, contextualizado en lo curricular, se conjugan como un dispositivo didáctico viable y alternativo para la solución de aquellas. Fundamentan lo expuesto, el análisis de resultados de publicaciones previas, propias y de otros autores, el desarrollo de innovaciones basadas en Tics para la enseñanza a nivel superior y a la evaluación de experiencias didácticas concretas realizadas en distintas modalidades de dictado (presenciales, b-learning y a distancia) en el espacio de la formación de ingenieros en la Universidad Nacional de Rosario.

## Referencias

- [1] Vargas Leyva, Ruth, Reestructuración industrial, educación tecnológica y formación de ingenieros, México, ANUIES, 1999, 344p. (Biblioteca de la Educación Superior, Serie Investigaciones), accesible en [http://www.anui.es.mx/servicios/d\\_estrategicos/libros/lib26/indi.htm](http://www.anui.es.mx/servicios/d_estrategicos/libros/lib26/indi.htm)
- [2] Santos Benito, J; Gras-Marti, A.; Soler-Selva, V. “Recursos para la enseñanza del péndulo simple: imágenes, mediciones, simulaciones y guías didácticas”; *Cad. Brás. Ens. Fís.*, 2005, v22, n.2: 165-189
- [3] Maldonado Granados, L.; Sequeda Tarazona, J. “Representaciones múltiples y comprensión de documentos en el dominio de la tecnología”, *investigación de tesis para obtener el título de Magíster en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación*, en <http://lsm.dei.uc.pt/ribie/docfiles/txt2003731173417paper-127.pdf>. (Consultado 5-10-2007)
- [4] Marchisio, S., Plano, M., Ronco, J., Von Pamel, O., “Introducing hypermedia learning resources in a Physics course on semiconductor devices for electronic engineering students”, *International Conference on Engineering Education and Research*, VŠB-TUO, Ostrava. 2004
- [5] Kofman, H. “Integración de las funciones constructivas y comunicativas de las NTICs en la enseñanza de la Física Universitaria y la capacitación docente”, *EDUCARED*. 2003, Accesible en <http://www.educared.org.ar/concurso-2/resenia/pdf/04-kofman.pdf>, Página visitada 20/11/2007
- [6] Inhelder, B. y Piaget, J. *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. Paris, 1955.
- [7] Batanero, C. *Didáctica de la Estadística*, Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada, 2001.
- [8] Fischbein, *The intuitive sources of probabilistic thinking in children*. Dordrecht: Reidel. 1975.
- [9] Kahneman, D.; Slovic, P. y Tversky, A., *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press, 1982, citado por Batanero, C. *Didáctica de la Estadística*, Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada, 2001.
- [10] Curcio, F. R. “Comprehension of mathematical relationships expressed in graphs”. *Journal for Research in Mathematics Education*, 1987, 18 (5), 382-393.
- [11] Moreira, M. y Greca, I. “Introdução à Mecânica Quântica: seria o caso de evitar a aprendizagem significativa” *III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*. Peniche, Portugal, 2000
- [12] Müller, R. y Wiesner, H., 1999. „Students’ conceptions of quantum physics”. Presentado en *NARST 99*. [http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM\\_papers.pdf](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf). 13.1.2003
- [13] Johnston, I. D., Crawford, K. y Fletcher, P. R. “Student difficulties in learning quantum mechanics”. *Int. J. Sci. Ed.* 1998, 20:427-446.
- [14] Bunce, D. y Gabel, D., “Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry”, *J. Res. Sci. Teach.* 2002, 39[10], 911-927
- [15] Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M. y Sanz, A., *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia*, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1991
- [16] Gómez Antón, A., “Pero, ¿y las bandas existen en los materiales? motivando el aprendizaje de la Física del Estado Sólido”, *Memorias del III*

*Taller iberoamericano sobre educación en ciencias de los materiales*, TIECIM'02, Universidad Autónoma de Madrid, España, 2002, pp 35-39

- [17] Jacas Rodríguez, A., Liria Calderón, A., Torres Aguiar, A., Rosales Bosch, J.L., "La educación en ciencias e ingeniería de los materiales a través de problemas experimentales: una experiencia pedagógica en la Universidad Enrique José Varona", *Memorias del III Taller iberoamericano sobre educación en ciencias de los materiales*, TIECIM'02, UAM, España, 2002, pp 151-156
- [18] Otero, R., Greca, I y Lang Da Silveira, F. "Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: Un estudio comparativo", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 2003, Vol. 2 N° 1
- [19] Von Pamel, O., Marchisio, S., Plano, M., Ronco, J. "Experiencia con uso de simulaciones en la enseñanza de la física de los dispositivos electrónicos", *Revista Cognición*, 2006, Año 1, Vol. 2
- [20] Pintrich, P. R., Marx, R. W., Boyle, R. A. "Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change". *Review of Educational Research*, 1993, 63, 2, 197-199.
- [21] Johnson - Laird, P. N., *Mental models*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1983.
- [22] Vigotsky, L. *Pensamiento y Lenguaje*. Fausto. Buenos Aires, 1977.
- [23] Wertsch, J. "La acción mediada en el espacio social" *La mente en acción*. Bs As, Aique. 1999.
- [24] Marchisio, S. "Tecnología, educación y nuevos "ambientes de aprendizajes" una revisión del campo y derivaciones para la capacitación docente", *Revista RUEDA*, Vol. 5, Universidad Nacional de La Rioja, EUDELAR. La Rioja. Argentina. 2003.
- [25] Wie C. R., "Educational Java Applets in Solid State Materials"; *IEEE Trans*. Ed. Vol.41, 1998
- [26] Liu y Ginthe, "Cognitive Styles and Distance Education" , *Online Journal of Distance Learning Administration*, Vol. II, III, Fall1999, State University of West Georgia, 1999, accessible en

<http://www.westga.edu/~distance/liu23.html>  
Pág visitada el 12/11/07

- [27] Vergnaud, G., "La théorie des champs conceptuels" *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 1990, 10 (23); 133-170
- [28] Marchisio, S. y Von Pamel, O. "La enseñanza de los dispositivos electrónicos en el ciclo básico de Ingeniería", *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, Vol 1, N°2, UNRC, Argentina. 2000.
- [29] Ausubel, D., Novak, J., Hanesian, D., *Psicología Educacional*. Ed. Trillas, México, 1989.
- [30] Marchisio, S. y Von Pamel, O. (2000) "Una experiencia de integración de tecnologías y estrategias de educación a distancia en un contexto de educación universitaria tradicional en Argentina", en *Revista Aula Hoy*, N° 19, Editorial Hommo Sapiens, Argentina.

#### **Datos de Contacto:**

*Susana Marchisio. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina. E-mail. [smarch@fceia.unr.edu.ar](mailto:smarch@fceia.unr.edu.ar)*  
*Oscar Von Pamel. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina. E-mail. [vonpamel@fceia.unr.edu.ar](mailto:vonpamel@fceia.unr.edu.ar)*  
*Jorge C. Ronco. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina. E-mail. [jcronco@fceia.unr.edu.ar](mailto:jcronco@fceia.unr.edu.ar)*  
*Miguel A. Plano. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Avda. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina. E-mail. [mplano@fceia.unr.edu.ar](mailto:mplano@fceia.unr.edu.ar)*