

## LAS NT EN COMO HERRAMIENTA DE MEJORA DEL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN ESTUDIOS AVANZADOS: PROCCA-09 Y SU INFLUENCIA EN LA MEJORA DEL APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA “DISEÑO AVANZADO DE EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR” DEL MÁSTER DE INGENIERÍA QUÍMICA

Francisco del Cerro  
Velázquez  
Universidad de Murcia  
[fcerro@um.es](mailto:fcerro@um.es)

Francisco Alhama López  
Universidad Politécnica de  
Cartagena  
[paco.alhama@upct.es](mailto:paco.alhama@upct.es)

### Resumen

El Método de simulación por redes (MESIR) aplicado a la resolución de problemas en ingeniería, aúna todo el potencial existente en la analogía termo-eléctrica con la potencia de los ordenadores. El registro del programa PROCCA-09 basado en el MESIR es resultado del trabajo de dos grupos de investigación de la UMU y la UPCT. Entre las ventajas de esta herramienta, en contraposición con las prácticas de laboratorio, podemos citar: es generalmente más económica, no tiene riesgos, portátil, fomenta el aprendizaje significativo, etc. En la comunicación se presentan algunas experiencias y resultados con esta herramienta que mejoran el proceso de enseñanza-aprendizaje y fomentan el autoaprendizaje.

### Texto de la comunicación

#### La conducción de calor y las TIC (PROCCA-09)

La conducción de calor es, sin duda, uno de los campos más relevantes en ingeniería pues son muchos los procesos industriales en los que se da este fenómeno físico. Conocer los aspectos esenciales del mismo es, pues, un objetivo fundamental de la docencia en las escuelas de ingeniería, en particular en la ingeniería química. En este sentido, el máster de Ingeniería Química cuenta con una asignatura específica de “diseño avanzado de equipos de transferencia de calor”. La citada asignatura es responsabilidad docente de las áreas de ingeniería química y máquinas y motores térmicos; en concreto, el profesorado del área de ingeniería química imparte los conceptos teóricos relacionados con la conducción del calor: ecuaciones de conducción, radiación y convección, condiciones de contorno, etc., mientras que el profesorado del área de máquinas y motores térmicos se ocupa de la parte práctica.

En relación con los contenidos prácticos la bibliografía de apoyo se ha centrado en textos de conducción térmica entre los que destacamos Alhama y del Cerro [2010]. Este texto de apoyo incluye la simulación y diseño de problemas de conducción de calor con “PROCCA-09” [2009].

PROCCA-09 es, en principio, uno más de los muchos programas comerciales educativos aplicados a ciencias e ingeniería. Sin embargo, su diseño tiene ciertas peculiaridades que le diferencia y distingue de otros programas básicamente orientados al cálculo, con un diseño numérico propio, y que funcionan a modo de cajas negras de contenido, en general, inaccesible al usuario. En este sentido, el carácter didáctico del programa permite la simulación de problemas de conducción térmica

facilitando el aprendizaje de los contenidos básicos de esta ciencia, al mismo tiempo que analiza los problemas científicamente con el cálculo numérico necesario.

El programa, que contiene dos módulos, uno de conducción de calor en medios multicapa de diferentes geometrías (módulo CONCBA) y otro para el análisis y diseño de aletas (módulo CONCAL), hace uso de la analogía o equivalencia entre el transporte eléctrico y la conducción térmica y se presenta al usuario mediante un entorno de comunicación ameno, tipo ventanas, que dirige paso a paso las acciones y opciones posibles del usuario, tales como selección del tipo de problema, entrada de datos, creación y manipulación de archivos de modelos, simulación, presentación de resultados, etc. Los archivos de modelos en red se ejecutan en PSpice [1994] y los resultados de simulación se ofrecen directamente en el entorno, gráfico o tabulado, de salida de PSpice o bien, en el entorno gráfico del propio programa y (en mayor detalle) en el entorno gráfico del software MATLAB [1997], merced de rutinas auxiliares incorporadas al programa. PROCCA-09 permite también presentar soluciones animadas de las isoterms en problemas transitorios.

La figura 1 presenta un esquema de funcionamiento básico del programa. Su puesta en marcha permite seleccionar el módulo de trabajo (CONCBA O CONCAL), desde donde se inicia el problema objeto de simulación, procediéndose directamente a la entrada de datos: geometría de la reticulación, características térmicas, condiciones de contorno, etc. La introducción de datos complementarios relativos al tipo de simulación, tales como la precisión en los cálculos, número de dígitos, tiempo de simulación y otros, se realiza paralelamente o al final de la creación del archivo de modelo. La ejecución o simulación y consiguiente solución del modelo da acceso al entorno gráfico de PSpice, el cual permite representar simultáneamente las variables de salida más comunes, a saber, los flujos de calor y las temperaturas (corrientes y tensiones) en los distintos elementos y nudos del medio elegidos por el usuario. Como ya hemos citado, también se pueden obtener soluciones en el entorno gráfico del propio programa y en el entorno gráfico de MATLAB.

Un archivo de ayuda accesible desde cualquier paso del programa informa al usuario de cómo resolver e interpretar las dificultades que puedan surgir en la explotación del programa.

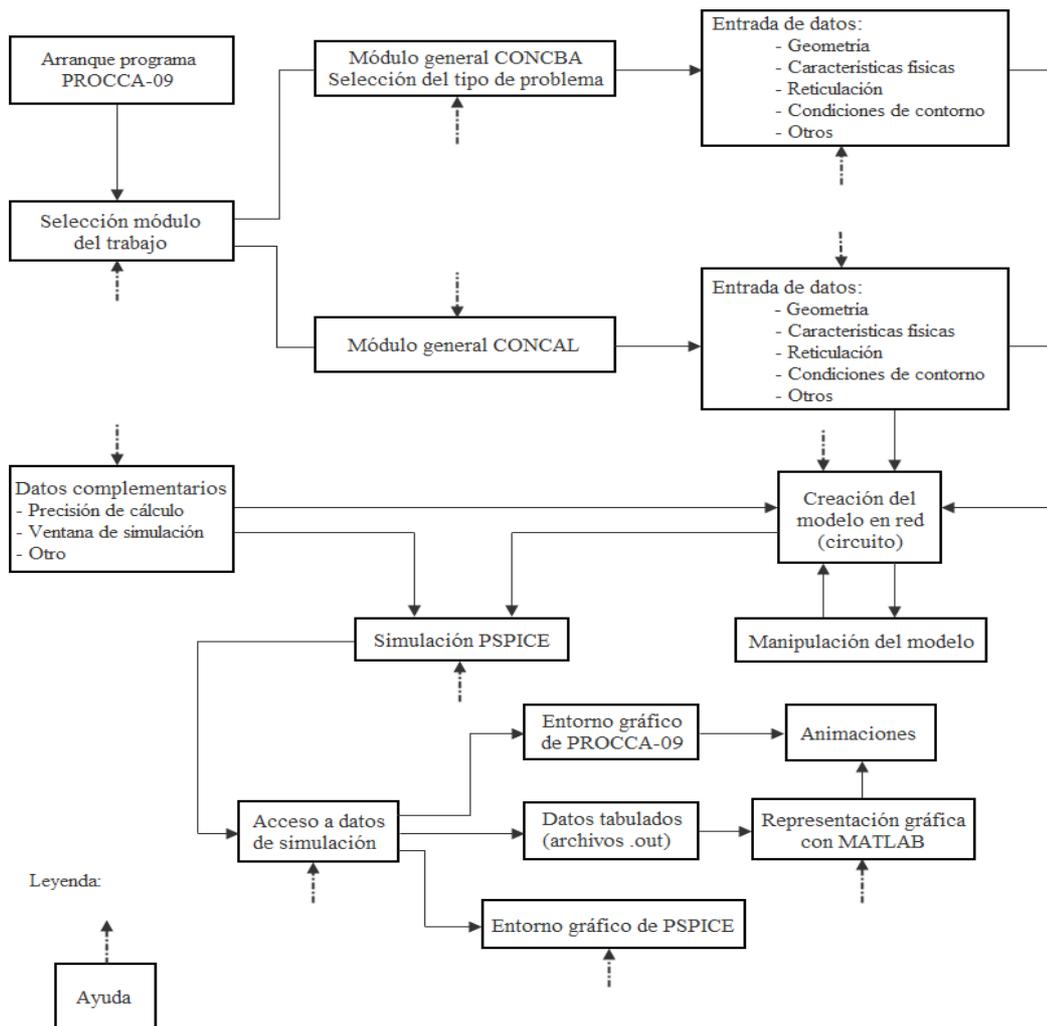


Figura 1. Diagrama de funcionamiento de PROCCA-09

A continuación se presentan algunas pantallas de PROCCA-09 y un ejemplo simulado con el programa.

En la figura 2, podemos ver las opciones de la barra de herramientas donde puede seleccionarse el diseño en el módulo CONCBA o en el módulo CONCAL. La figura 3 presenta las pantallas de modelos CONCBA O CONCAL donde, a su vez, pueden elegirse distintas geometrías.

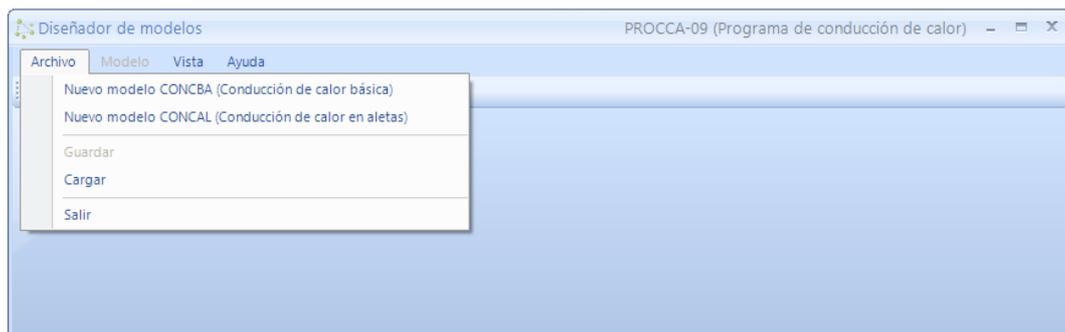


Figura 2. Opciones de inicio de la barra de herramientas de PROCCA-09



Figura 3. Opciones del tipo de modelo: Módulo CONCBA y Módulo CONCAL.  
En los ejemplos CONCBA-geometría rectangular y CONCAL-geometría aleta simple

Las figuras 4 y 5 muestran algunas de las pantallas del programa que permiten definir el problema introduciendo datos como: la geometría, materiales, condiciones de contorno, etc.

La figura 6 muestra una retícula tal y como las presenta PROCCA-09; en este caso, se trata de una placa con una oquedad y en la representación pueden observarse la denominación y numeración de las celdas y, de forma resaltada, las celdas donde existen condiciones de contorno.

Una vez definido el problema y presentada la geometría de la retícula, el programa ha generado el archivo de modelo en red que podemos visualizar o directamente simular en PSpice mediante la pantalla de simulación (figura 7).

Después de la simulación del modelo en red podremos obtener distintos resultados de salida: las temperaturas y flujos de calor en el entorno gráfico de PSpice (figura 8), la

representación gráfica de las isothermas en el entorno gráfico del propio PROCCA-09 y en el entorno gráfico de MATLAB (figura 9) y la evolución de las isothermas en el transitorio mediante animaciones de MATLAB obtenidas con la pantalla de generación de animaciones (figura 10).

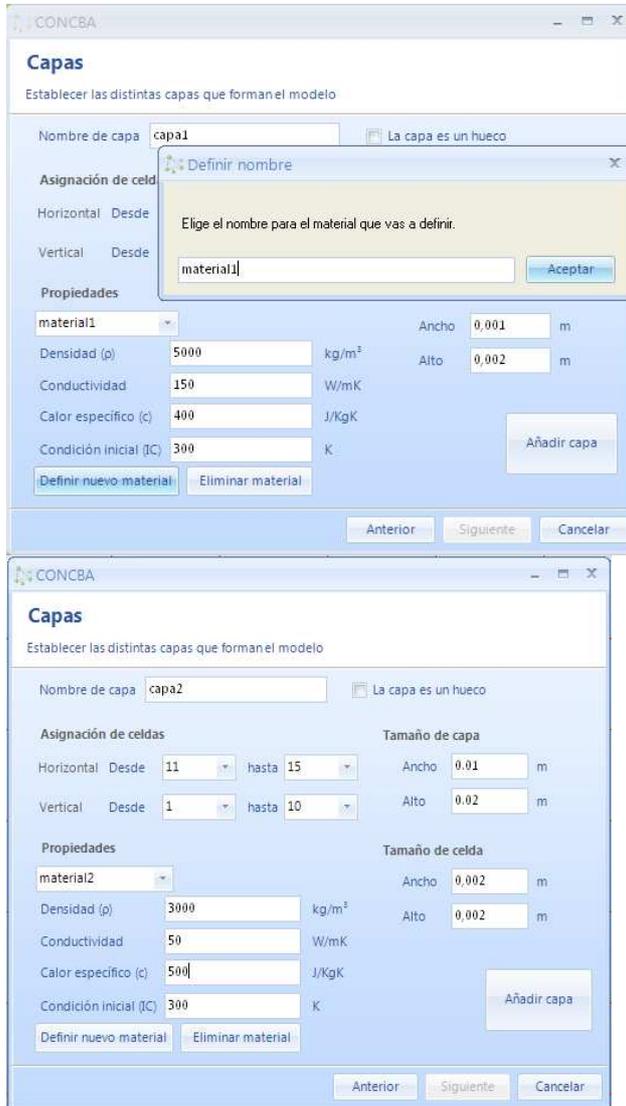


Figura 4. Pantalla de introducción de datos para una geometría rectangular.

Permite elegir material o definir uno nuevo

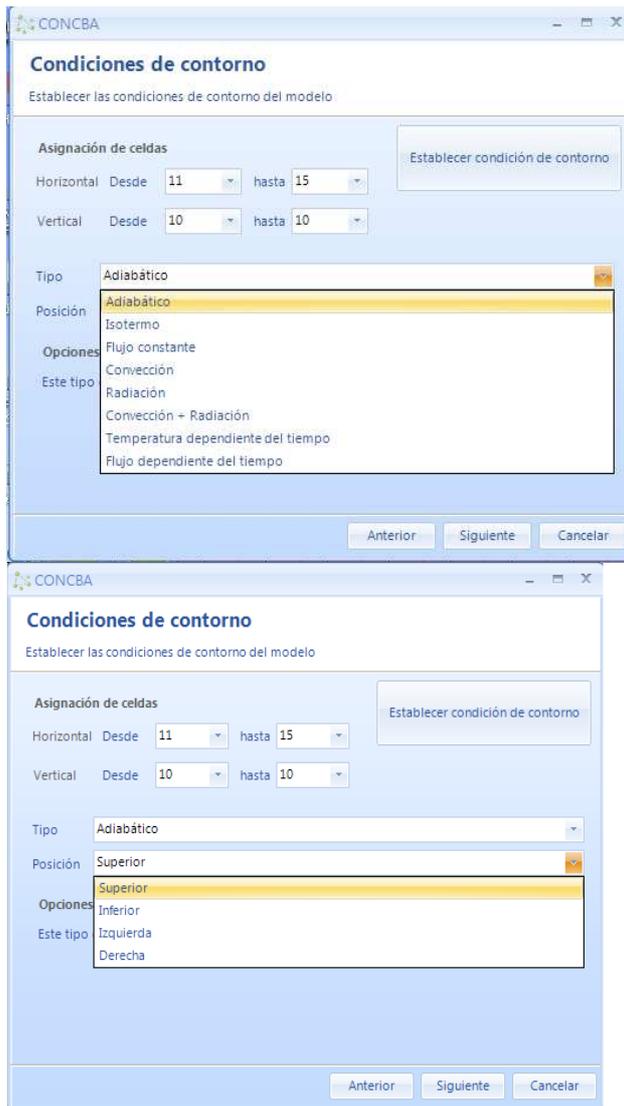


Figura 5. Pantallas de introducción de condiciones de contorno

Como última opción de resultados de salida PROCCA-09 ofrece animaciones de las isotermas en problemas transitorios. La variedad descrita de opciones de salida o resultados, contribuye, en buena medida, a la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje pues facilita enormemente la consolidación de los conceptos teóricos estudiados.



pantalla de PSpice mostrando el tiempo de computación

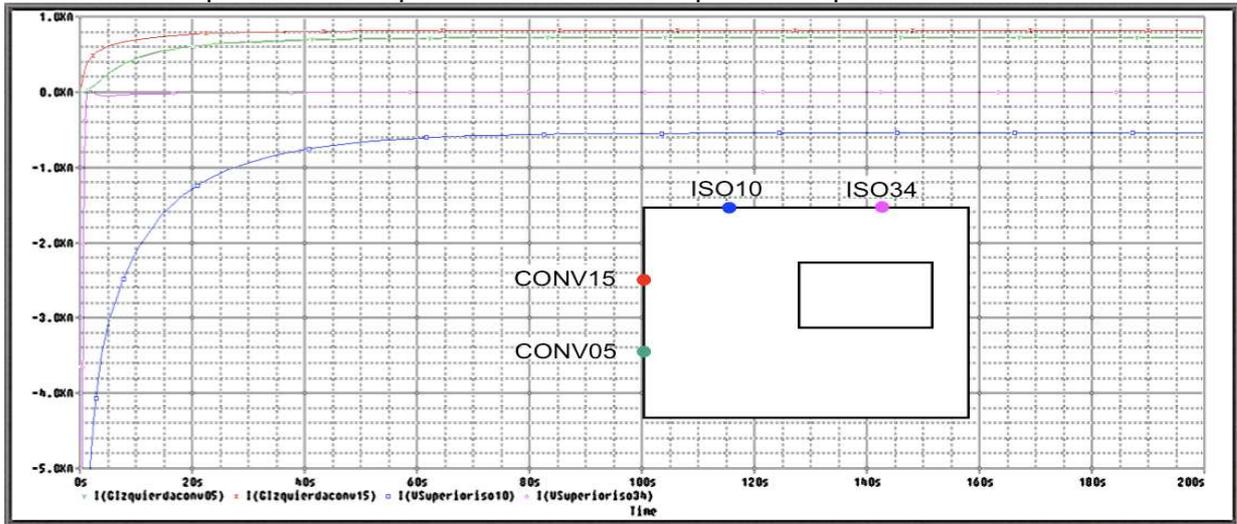


Figura 8. Entorno gráfico de PSpice. Flujos de calor en celdas típicas del contorno isotermo y del contorno convectivo

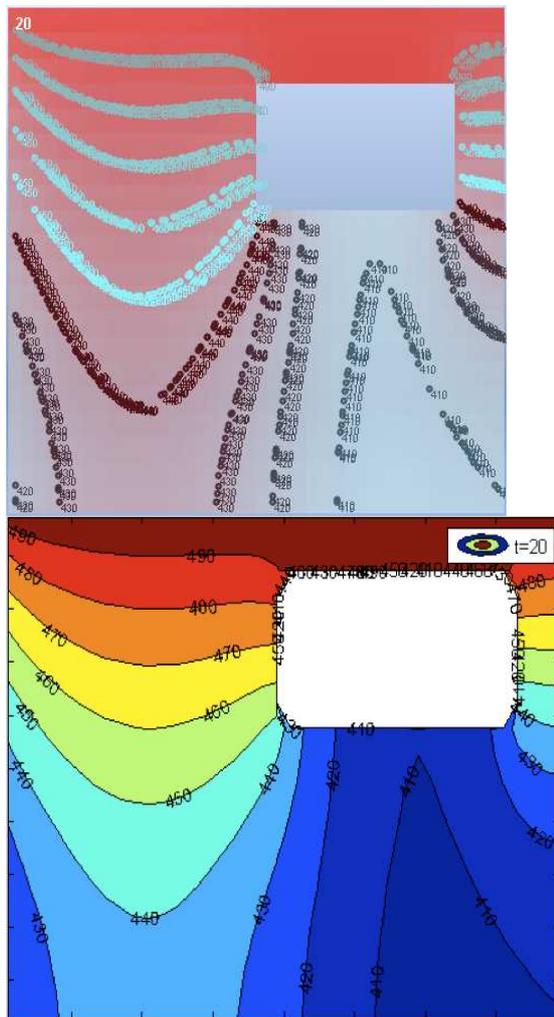


Figura 9. Entornos gráficos de PROCCA Y MATLAB (mayor calidad). Isotermas en el transitorio (instante  $t = 20$  s)

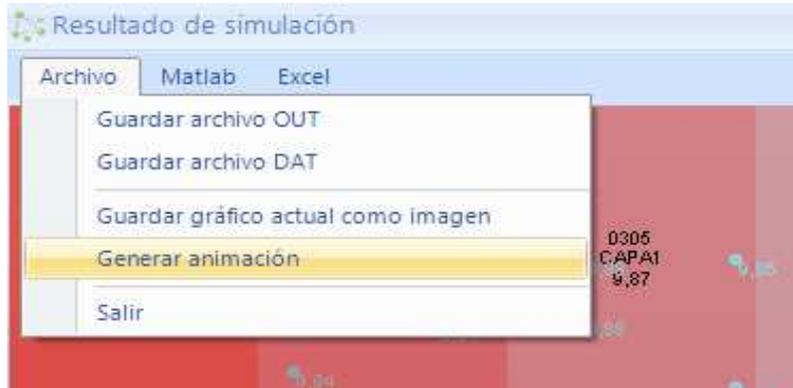


Figura 10. Pantalla de generación de animaciones MATLAB

### Mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en el máster de Ingeniería Química mediante el programa PROCCA-09.

Como citábamos anteriormente, el máster de Ingeniería Química de la Universidad de Murcia cuenta con una asignatura específica de “diseño avanzado de equipos de transferencia de calor”, en la que el uso de las TIC, concretamente el programa informático de resolución de problemas de conducción de calor PROCCA-09, ha servido para la realización de las prácticas de la citada materia. En este sentido, con PROCCA-09, los alumnos han analizado gran variedad de supuestos prácticos que difícilmente podrían haberse preparado en el laboratorio, no solo por su variedad y el consiguiente coste económico, también por la dificultad que conlleva conseguir en la práctica determinadas condiciones de ensayo, por ejemplo una temperatura dependiente con el tiempo, una condición isoterma, variaciones en la geometría, cambios de material, etc.

La extensión del programa permite plantear el estudio y diseño de distintos tipos de problemas de transmisión de calor como son:

- la solución transitoria y estacionaria
- el uso de geometrías rectangulares 1-D y 2-D, cilíndricas 1-D y 2-D y esféricas 1-D
- la implementación de medios multicapa extendidos a toda o parte de la geometría del problema, así como la implementación de regiones de particulares de geometría casi arbitraria de características térmicas diferentes (incluyendo oquedades en el medio)

Así mismo, la extensión del programa permite implementar diversas condiciones de contorno (lineales y no lineales):

- Isoterma
- de flujo de calor constante

- adiabática
- de convección
- de radiación
- de convección más radiación
- temperatura dependiente del tiempo (sinusoidal, rectangular, lineal a tramos pulsos)
- flujo de calor dependiente del tiempo (sinusoidal, rectangular, lineal a tramos pulsos)

En relación a la extensión del programa podemos resumir que PROCCA-09 se estructura, como hemos mencionado, en dos módulos “CONCBA” y “CONCAL”. Con el primer módulo “CONCBA” (módulo básico de conducción de calor), de carácter general, se obtendrá la solución numérica de la ecuación lineal transitoria del calor en diferentes geometrías y medios homogéneos (monocapa) y heterogéneos (multicapas), 1-D y 2-D, con condiciones de contorno arbitrarias (lineales o no); el segundo, “CONCAL (módulo de aplicación al cálculo y optimización de aletas)”, se orienta al diseño y optimización de algunos tipos de aletas y conjuntos aleta-pared rectangulares, un tema esencial en el diseño de equipos térmicos.

Por tanto, dada la extensión y posibilidades de PROCCA-09 podemos asegurar que las ventajas de esta herramienta, en contraposición con las prácticas clásicas de laboratorio, son muchas; es generalmente más económico, no tiene riesgos, portátil y fomenta el aprendizaje significativo pues se adapta al ritmo personal de cada alumno, etc. Estas ventajas las iremos desarrollando o justificando a modo de conclusiones en el siguiente apartado de la comunicación, basándonos en la experiencia de la asignatura del máster de Ingeniería Química: “diseño avanzado de equipos de transferencia de calor” y en el cuestionario de evaluación de la práctica docente, facilitado a los alumnos al concluir la docencia de la asignatura.

Todas las ventajas antes citadas facilitan el autoaprendizaje. En este sentido, de los 2 créditos ECTS responsabilidad del área de máquinas y motores térmicos para desarrollar las prácticas de la asignatura “Diseño avanzado de equipos de transferencia de calor”, 35 horas están dedicadas al autoaprendizaje con PROCCA-09, para ello se han propuesto ejercicios que el alumno resuelve con el programa y devuelve al profesor para su corrección.

Esta metodología de autoaprendizaje ha permitido que los alumnos encuentren en PROCCA-09 un buen soporte para su proyecto fin de máster. En este sentido, hemos recibido propuestas de diseño y optimización de aislamientos en tanques esféricos, diseño de sistemas de refrigeración con aletas, esterilización térmica de conservas, etc.

Aunque todos los autores comparten la idea de la oportunidad que las NT ofrecen para el aprendizaje y la formación, sus planteamientos y perspectivas respecto al uso de éstas en la educación son desiguales. Los más seguidores o defensores de las NT, asocian a éstas la preocupación por el diseño pedagógico, en donde deben optimizarse los instrumentos, medios y programas que propicien la consecución de los objetivos propuestos... (Duchatel, Fleury y Provost [1998]). Con esta idea, es decir, con una óptima utilización de las TIC que el docente deberá definir adecuadamente para cada materia, podemos sistematizar en tres grandes ventajas, sobradamente contrastadas, las proporcionadas por aquellas en los procesos de enseñanza-aprendizaje:

- 1ª Potencialidad para activar la participación de los estudiantes en los procesos educativos, fomentando así el autoaprendizaje,
- 2ª Facilita la memorización conceptual,
- 3ª Permite aplicar lo aprendido a la solución de los problemas reales o simulados.

A continuación, en el siguiente punto, establecemos las conclusiones del trabajo, basadas (como ya indicamos) en nuestra experiencia en el máster de Ingeniería Química. Evidentemente, todas las conclusiones pivotarán alrededor de las tres grandes ideas o ventajas citadas en el párrafo anterior.

### **Conclusiones**

- La combinación de los distintos tipos de problemas y las distintas condiciones de contorno que ofrece PROCCA-09, nos proporciona una gran variedad de ejemplos prácticos en transmisión de calor que permiten un aprendizaje autónomo. Así mismo, PROCCA-09 favorece un aprendizaje significativo al proporcionar cuestiones prácticas con distintos niveles de dificultad, que pueden adaptarse a los conocimientos teóricos previos, de cada alumno.
- Las diversas y variadas opciones de salida de resultados que ofrece PROCCA-09, permiten realizar una interpretación muy clara y exacta de los problemas analizados o estudiados dentro de un campo tan complejo en la ingeniería como es la de transmisión de calor. Por esta razón, el uso de las TIC y en este caso el de PROCCA-09 fomenta la motivación de los alumnos y ayuda a consolidar y comprender los conceptos teóricos de la transmisión de calor.
- El uso de las TIC y en concreto los programas de cálculo y diseño en las enseñanzas de máster, abre una línea de trabajo y/o investigación en el alumnado que contribuirá al desarrollo de sus trabajos fin de máster, al diseño de equipos en su actividad profesional, a la realización de tesis, etc.
- A la combinación entre los distintos tipos de problemas y distintas condiciones de contorno, el uso de PROCCA-09 permite igualmente abordar otras combinaciones de ejercicios, como cambios de geometría de los equipos estudiados, cambios de material, modificaciones en las propiedades térmicas, etc. Estas nuevas combinaciones o posibilidades prácticas, proporcionan estudios o análisis comparados (por ejemplo un determinado equipo diseñado con dos materiales distintos) que igualmente, contribuyen a la consolidación de los conceptos teóricos, a la posibilidad de un aprendizaje autónomo y significativo, a la realización de trabajos o proyectos fin de máster, a la mejora en el diseño de equipos en su actividad profesional, etc. En definitiva, a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje y de la actividad profesional que posteriormente desarrollarán los alumnos.

### **Bibliografía**

Alarcón, M., Del Cerro Velázquez, F. y Alhama, F (2002). *Modelización de procesos térmicos en máquinas frigoríficas mediante el método de simulación por redes*. Cartagena: I CYTEF Libro de resúmenes, 34.

Alhama, F., del Cerro, F. (2010). *Simulación y diseño de problemas de conducción térmica con PROCCA-09*. Murcia: edit.um (Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia)

Alhama, F. (1999). *Estudio de respuestas térmicas transitorias en procesos no lineales de transmisión de calor mediante el método de simulación por redes*. Murcia: Tesis doctoral-Universidad de Murcia.

Archer, T. *Inside C#*, Editorial Microsoft (2004)

Campillo Díaz, M. y Pérez Muñoz, M. (2002). *El crecimiento de las nuevas tecnologías en la sociedad actual*. Murcia: Revista interuniversitaria de Pedagogía Social, nº 5, 2ª época, pp.273-283.

Chapman, A.J. (1984). *Heat transfer*. 4ª ed. New York: Macmillan Publishing Company.

Del Cerro Velázquez, F., Gómez-Lopera, S. y Alhama, F. (2008). *A powerful and versatile educational software to simulate transient heat transfer processes in simple fins*. CAEE, Computer Application in Engineering Education 16, pp.72-82.

Del Cerro Velázquez, F., Campo, A. and Alhama, F. (2004). *The Teaching of Unsteady Heat Conduction Using the Thermoelectric and the Code PSPICE*. INEER, Praga: Proc. of International Network on Engineering Education and Research.

Del Cerro Velázquez, F., Alhama, F. and Campo, A. (2004). *The Teaching of Unsteady Heat Conduction Using the Thermoelectric and the Code PSPICE*. VSB-TUO, Ostrava: Engineering Education and Research Progress Through Partnership.. pp.79-86

Del Cerro Velázquez, F. and Alhama, F. (2004). *Teaching Coupled Differential Equations by Network Method*. INEER, Praga: Proc. of International Network of Engineering Education and Research.

Del Cerro Velázquez, F. and Alhama, F. (2004). *Teaching Coupled Differential Equations by Network Method*. VSB-TUO, Ostrava: Engineering Education and Research Progress Through Partnership.. pp.815-821

Del Cerro Velázquez, F. and Alhama, F. (2009). *"PROCCA-09" [2009]. Programa de conducción de calor*. Cartagena: Universidad politécnica de Cartagena.

Holman, J. P., (1981). *Heat transfer* (5º ed). New York: McGraw-Hill.

MATLAB 6. MathWorks, Natick, MA (1997)

PSPICE, versión 6.0: Microsim Corporation, 20 Fairbanks, Irvine, California 92718 (1994)

Robinson, S, y col. (2001) *Professional C#*, Wrox Press.

Soto, A., Alhama, F. y González-Fernández, C.F. (2007). *Density-driven flow and solute transport problems. A 2-D numerical model based on the network simulation method*. Computer physics communications 177, pp.720-728 (2007)

### **Cuestiones y/o consideraciones para el debate**

Ya hemos comentado, en este trabajo, que podemos asegurar que las NT ofrecen ventajas frente a las clásicas prácticas de laboratorio, sin embargo, podríamos plantearnos: ¿en realidad sustituyen aquellas a éstas o son complementarias? ¿tienen inconvenientes o son todo ventajas?, así por ejemplo, ¿podríamos decir igualmente que el exceso de apoyo en las NT hace que los alumnos no adquieran determinadas habilidades o destrezas que sí le proporcionarían las prácticas de laboratorio clásicas?.....

Si bien es cierta la dificultad de los problemas de transmisión de calor, así como la de disponer de los equipos necesarios para equipar un laboratorio de prácticas clásicas, lo que justifica el uso de medios o herramientas como PROCCA-09, ¿es razonable el uso de las NT en problemas con solución analítica y/o en otras disciplinas?.

¿Podríamos concluir los temas de debate, asegurando que las TIC o las NT se ajustan o deben utilizarse con mayor peso en los procesos de enseñanza-aprendizaje de estudios avanzados, mientras que a las prácticas clásicas debe recurrirse en mayor medida en las enseñanzas de nivel inferior para garantizar que en estos niveles los alumnos adquieran habilidades de laboratorio?