

# DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DOCENTE CUADERNODEPROBLEMAS. APLICACIÓN A LAS CIENCIAS Y TÉCNICAS DEL FRÍO

Juan F. Coronel<sup>1</sup>, Luis Pérez-Lombard<sup>1</sup>, Ismael R. Maestre<sup>2</sup>

1: Dpto. Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. ETSI, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092, Sevilla; 2: Dpto. de Máquinas y Motores Térmicos, Escuela Politécnica Superior de Algeciras, Universidad de Cádiz. Avda. Ramón Pujol s/n, 11202, Algeciras (Cádiz)

Juan F. Coronel

jfc@us.es

.....

**Resumen:** CuadernoDeProblemas (<http://cuadernodeproblemas.es>) es una herramienta gratuita y online diseñada para resolver los problemas usuales en las materias vinculadas a la ingeniería. La nueva versión 3 incluye características muy adecuadas para su aplicación en las ciencias y técnicas del frío. La apariencia de la herramienta ha sido rediseñada para simular el desarrollo de los problemas en una "hoja de papel". La aplicación es capaz de obtener las propiedades termofísicas de los fluidos (refrigerantes, sicrometría, etc.). Se han incluido los componentes Tabla y Gráfica, que permiten resolver varias veces el mismo problema modificando de forma paramétrica alguno de los datos del problema.

La herramienta está siendo implantada en el marco del departamento de ingeniería energética de la Universidad de Sevilla, donde es utilizada ya en 8 asignaturas, con más de 400 usuarios registrados y más de 3000 problemas creados en la base de datos.

**Palabras clave:** Refrigeración, Producción de Frío, Enseñanza Técnica, Nuevas Tecnologías de la Enseñanza.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje en ingeniería, y más concretamente el de las ciencias y técnicas del frío, es un proceso complejo que debe desarrollarse de forma secuencial. En primer lugar, deben conocerse los fundamentos teóricos que definen las magnitudes, propiedades y leyes. A continuación, dichos fundamentos deben aplicarse durante el análisis de problemas prácticos para plantear las ecuaciones que los gobiernan. En tercer lugar, es necesario obtener su solución numérica, mediante la resolución de ecuaciones matemáticas y el manejo de tablas y gráficas. Por último, la discusión de los resultados permite profundizar en el conocimiento del comportamiento físico del sistema.

De este modo, a las dificultades que presenta el conocimiento de los fundamentos teóricos y la aplicación de procedimientos de análisis (física del problema), se añade la complejidad numérica derivada de ecuaciones de gobierno difíciles de resolver (matemática del problema), lo que obliga al alumno a dedicar gran parte de su tiempo a cálculos matemáticos en los que, con frecuencia, comete errores.

A nuestro juicio, el tiempo dedicado a la resolución de problemas resulta poco formativo y supera con creces el disponible durante las clases y los exámenes, con los siguientes perjuicios sobre el proceso de aprendizaje:

- El alumno se centra en la resolución numérica, descuidando el análisis y la discusión de los resultados.
- Los problemas propuestos se simplifican de forma artificial y poco realista, para que su resolución numérica sea posible en un tiempo razonable.
- La evaluación del impacto de los datos de entrada sobre los resultados (análisis de sensibilidad), que exige resolver el problema  $n$  veces, resulta inabordable, dificultando la comprensión de su comportamiento físico.
- La resolución de problemas de diseño en ingeniería es siempre iterativa, por lo que en la práctica queda fuera del alcance del currículo.

En consecuencia, parece evidente que el desarrollo de herramientas dedicadas específicamente al análisis, resolución y discusión de problemas en ingeniería supone una innovación imprescindible para mejorar la docencia en este campo.

Las primeras aplicaciones de este tipo se denominaron equation solvers y surgieron a finales del siglo pasado en las universidades americanas, para liberar al alumno de tareas puramente numéricas y evitar errores de cálculo. Sin embargo, nuestra actividad docente durante el último decenio nos ha permitido comprobar que el uso de solvers en ingeniería presenta los siguientes inconvenientes:

1. Se trata de aplicaciones propietarias que trabajan del lado del cliente, por lo que requieren licencias (a veces costosas) que deben instalarse en los ordenadores personales de los estudiantes.
2. No son sencillas, por lo que su aprendizaje requiere un periodo de formación extra, que no resulta breve en algunos casos.
3. Los ficheros de entrada suelen ser de texto plano, por lo que la visualización del problema se parece más al código de un programa informático que a la representación de dicho problema sobre un papel, lo que dificulta el proceso de revisión por parte del alumno y de evaluación por parte del profesor.
4. La comunicación entre profesores y alumnos resulta incómoda pues se basa en el intercambio de multitud de ficheros en diferentes formatos.
5. No son capaces de aunar bajo una misma aplicación y formato, el análisis, la resolución y la edición de los problemas. De este modo, el alumno se ve obligado a analizar sobre un papel, resolver con un solver y editar con procesadores de texto.

Para soslayar los inconvenientes anteriores, los autores han desarrollado el CuadernoDeProblemas ([www.cuadernodeproblemas.es](http://www.cuadernodeproblemas.es)). Se trata de un software on-line, gratuito, sencillo, que permite al alumno plantear y resolver problemas del mismo modo que lo haría sobre un papel, facilitando su revisión, evaluación, gestión y edición por profesores y alumnos.

El desarrollo de la aplicación comienza en 2013 y sus primeras aplicaciones docentes resultan premiadas en la Segunda Convocatoria de los premios de Innovación docente de la ETSI de Sevilla en 2015. Desde entonces, la aplicación ha sido reconcebida y mejorada para superar las barreras mencionadas anteriormente, y otras que han aparecido durante su aplicación.

## 2. OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

La docencia de la ingeniería en el mundo ha evolucionado hacia un modelo en que el alumno aprende más haciendo que recibiendo la ancestral "clase magistral". Para implementar nuevas metodologías docentes como la enseñanza basada en casos, problemas o proyectos es necesario disponer de herramientas que faciliten el análisis y la resolución de problemas

reales vinculados con la práctica profesional. Este ha sido el objetivo general que ha dirigido e impulsado el desarrollo del CuadernoDeProblemas.

Como objetivos particulares de la aplicación deben destacarse:

1. Ser gratuita, on-line, multiplataforma y con almacenamiento en la nube.
2. Ser muy sencilla para que la curva de aprendizaje sea corta para cualquier tipo de usuario. Con este fin se ha desarrollado documentación de apoyo y tutoriales para fomentar el aprendizaje autónomo de los usuarios.
3. Los problemas deben plantearse y resolverse del mismo modo que se hace sobre un papel. En consecuencia, el alumno puede emplear la herramienta para resolver problemas en clase o en casa, tal como lo haría en un cuaderno de la asignatura. Este nuevo "cuaderno digital en la nube" facilita, además, la edición, revisión, evaluación y comunicación entre profesores y alumnos.
4. Resolver sistemas de ecuaciones lineales y no lineales, quedando fuera de alcance (en principio) el cálculo matricial, diferencial e integral.
5. Incluir el cálculo de las propiedades termo-físicas de las sustancias comúnmente empleadas en las ciencias y técnicas del frío.
6. Realizar análisis paramétricos resolviendo múltiples veces el mismo problema, para comprender cómo se comporta el sistema cuando cambian los datos de entrada.
7. Facilitar el intercambio de problemas entre alumnos y profesores, evitando el intercambio de multitud de ficheros en diferentes formatos. Esto se consigue utilizando un identificador único (ID) sin necesidad de transferir archivos. Además, el intercambio de problemas entre alumnos contribuye a fomentar el aprendizaje colaborativo.

### 3. INTEGRACIÓN DOCENTE

La herramienta ha sido incorporada a varias asignaturas de grado y máster en la Universidad de Sevilla. Entre ellas puede destacarse *Tecnología Frigorífica e Instalaciones térmicas en la Edificación*. La forma de proceder en estas asignaturas es la siguiente: A comienzo de curso, los alumnos deben registrarse para poder acceder al CuadernoDeProblemas creando sus propias cuentas de usuario sin la intervención del profesor. La presentación de la herramienta se realiza arrancando directamente la aplicación en el ordenador del aula durante la primera clase y se redirige al alumno a los recursos desarrollados para su aprendizaje autónomo. A saber:

- Manual de usuario. <https://personal.us.es/jfc/CuadernoDeProblemas/manual%20usuario.html>
- Tutoriales: <https://www.youtube.com/channel/UCwl5KMHJJZbBusDrIkDYw>
- Historial: [https://personal.us.es/jfc/CuadernoDeProblemas/la\\_historia.html](https://personal.us.es/jfc/CuadernoDeProblemas/la_historia.html)

Además, se ha creado una cuenta en Twitter donde se anuncian la aparición de nuevas versiones y los cambios en la aplicación (<https://twitter.com/CdProblemas>) y un grupo de usuarios en Google para que los usuarios informen sobre los posibles errores y soliciten la inclusión de mejoras o capacidades adicionales (<https://groups.google.com/g/cuadernodeproblemas>). La herramienta se usa tanto en las clases de problemas como en las prácticas. Además, las tareas propuestas deben resolverse con la aplicación y remitirse al profesor enviando únicamente el ID del problema. Con el aumento del número de usuarios, la base de datos se ha mudado a un servidor Firebase para facilitar su mantenimiento y permitir el acceso de múltiples usuarios sin interferir en el funcionamiento de la aplicación.

En la actualidad, la herramienta se emplea en ocho asignaturas de tres grados y un máster relacionados con la Ingeniería. También se ha utilizado en el curso de Experto en Instalaciones de Climatización impartido por el Centro de Formación Permanente de la US y orientado a formar a profesionales de este sector. La buena acogida de la herramienta por parte de los alumnos ha multiplicado el número de usuarios registrados y el de problemas incluidos en la base de datos.

La herramienta ha sido sumamente útil durante las clases on-line a causa de la pandemia, pues permite al profesor emplear *CuadernoDeProblemas* como editor digital para plantear y resolver problemas en vivo, en lugar hacerlos a mano con ayuda de una tableta gráfica y un lápiz digital, con los consecuentes inconvenientes técnicos y económicos.

Por último, se encuentra en fase de implantación el uso de la aplicación durante los exámenes, gracias a nuevas capacidades que dificulten el intercambio de problemas durante los mismos. A modo de ejemplo, en la última versión se ha introducido un campo no editable denominado "*Autor original*" que guarda el correo electrónico de la cuenta desde la que se creó inicialmente el problema.

### 3. EJEMPLO DE USO, CICLO FRIGORÍFICO

A continuación, para ilustrar los resultados del uso de la aplicación, se muestra como caso práctico, un problema sencillo de un ciclo frigorífico por compresión simple. La *figura 1* muestran el aspecto que tendría en el *CuadernoDeProblemas* (ID: *ff96234d-bfda-45ff-8903-445b714a01df*). Puede observarse que los componentes básicos del problema (textos, imágenes, datos, incógnitas, propiedades de fluidos y ecuaciones) se generan empleando la barra de herramientas y se ubican libremente sobre la página del problema como lo haríamos a mano en nuestro cuaderno.

**PROBLEMA EJEMPLO CICLO FRIGORÍFICO** PRODUCCION FRO  
 Problema de ejemplo para el congreso CYTEF 2022

**Problema Ciclo Frigorífico**

Una máquina frigorífica utiliza el ciclo estándar de compresión de vapor. Produce 50 kW de refrigeración utilizando como refrigerante R-134a, si su temperatura de condensación es 40°C y la de evaporación -10°C, calcular:

1. Caudal de refrigerante
2. Potencia de compresión
3. Coeficiente de eficiencia energética, comparandolo con el de Carnot
4. Caudal volumétrico de refrigerante manejado por el compresor.
5. Temperatura de descarga del compresor

Analice cómo varía el COP al modificar la temperatura de evaporación del ciclo.

---

**DATOS:**

Potencia frigorífica:  $Q_F = 50 \text{ kW}$   
 Temp. condensación:  $T_C = 40 \text{ °C}$   
 Temp. evaporación:  $T_E = -10 \text{ °C}$

Esquema y diagrama p-h

**1. Caudal de refrigerante**

$$Q_F = \dot{m}_R \cdot (h_1 - h_4) \text{ [Bal. Evap.]}$$

$$\rightarrow \dot{m}_R = 0.367 \text{ kg/s} = 1321 \text{ kg/h}$$

**2. Potencia de compresión**

$$W_C = \dot{m}_R \cdot (h_2 - h_1) \text{ [Bal. Comp.]}$$

$$\rightarrow W_C = 12.41 \text{ kW}$$

**3. Coeficiente de eficiencia energética**

$$COP = \frac{Q_F}{W_C} \text{ [Coef. ef. en.]} \quad COP_C = \frac{T_E + 273.15}{T_C - T_E} \text{ [COP Carnot]}$$

$$\rightarrow COP = 4.029 \quad \rightarrow COP_C = 5.263$$

**4. Caudal volumétrico de refrigerante manejado por el compresor**

$$\dot{V}_{R1} = \frac{\dot{m}_R}{\rho_1} \text{ [Caudal vol.]} \quad \rightarrow \dot{V}_{R1} = 0.03655 \text{ m}^3/\text{s} = 131.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

**5. Temperatura de descarga del compresor**

$$T_2 = 46.29 \text{ °C} \text{ [T de R134a: P = p}_2, S = s_1]$$

**Propiedades:**

$p_E = 200.6 \text{ kPa}$  [P de R134a: T = T<sub>E</sub>, X = 100]  
 $p_C = 1017 \text{ kPa}$  [P de R134a: T = T<sub>C</sub>, X = 100]  
 $h_1 = 392.7 \text{ kJ/kg}$  [h de R134a: T = T<sub>E</sub>, X = 100]  
 $h_4 = 256.4 \text{ kJ/kg}$  [h de R134a: T = T<sub>C</sub>, X = 0]  
 $s_1 = 1.733 \text{ kJ/(kg·K)}$  [S de R134a: T = T<sub>E</sub>, X = 100]  
 $h_2 = 426.5 \text{ kJ/kg}$  [h de R134a: P = p<sub>2</sub>, S = s<sub>1</sub>]  
 $\rho_1 = 10.04 \text{ kg/m}^3$  [RO de R134a: T = T<sub>E</sub>, X = 100]

Figura 1. Problema de ejemplo de ciclo frigorífico (página 1)

Tras resolver el problema usando el botón *Resolver*, el problema puede imprimirse o guardarse como *pdf*. De este modo, la aplicación puede usarse no sólo como *solver*, sino también como editor de texto sin necesidad de volver a escribir el problema en aplicaciones tales como: Word, Latex, etc. Resulta evidente que la revisión y corrección del problema por parte de alumnos y profesores es mucho más sencilla en este formato.

Podemos observar cómo además de añadir texto es posible añadir imágenes y propiedades de fluidos, en este caso el refrigerante R-134a, que pueden depender de datos o incógnitas del problema.

Es también muy útil el código de colores utilizado por la aplicación, que es personalizable. En este caso los datos se muestran en azul, las ecuaciones en verde, las incógnitas en rojo y las propiedades del fluido en celeste.

Por último, para analizar y discutir los resultados, a veces es necesario resolver el problema *n* veces, modificando los datos de entrada. A modo de ejemplo, para explicar cómo afecta la temperatura de evaporación al *COP*, *COP* de Carnot y trabajo de compresión ( $W_c$ ) del ciclo es imprescindible tabular y graficar los resultados con la ayuda del CuadernoDeProblemas (*figura 2*). Evidentemente, este tipo de cuestiones resulta inabordable durante las clases o en los exámenes sin ayuda de la aplicación.

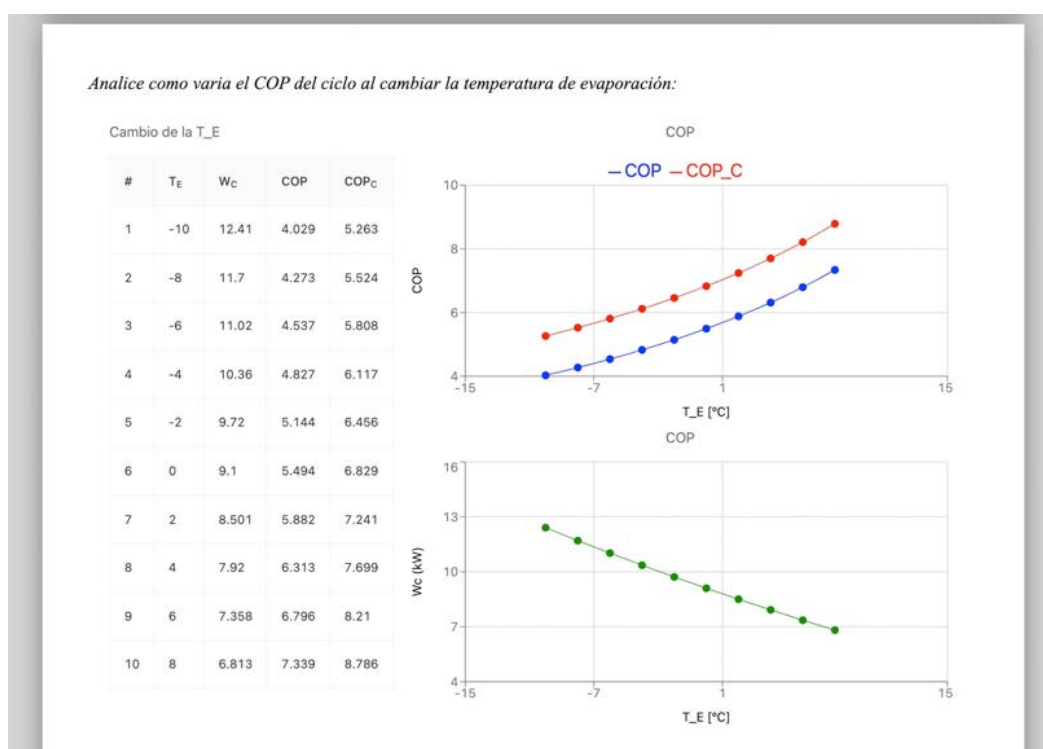


Figura 2. Tabla y gráfica de la variación paramétrica de la temperatura de evaporación (página 2)

#### 4. CONCLUSIONES

CuadernoDeProblemas es fruto del interés de los autores por tratar de enseñar a plantear, resolver y analizar problemas de ingeniería en el ámbito de la Educación Superior. Este tipo de aplicaciones facilita en gran medida el aprendizaje, pues permiten abordar con éxito y en un tiempo asequible, problemas de ingeniería más realistas y complejos que los propuestos con las metodologías tradicionales. Nuestras experiencias durante su implantación progresiva en diversas asignaturas nos han permitido identificar sus principales carencias para desarrollar nuevas versiones e incluir capacidades adicionales.

Lo que comenzó siendo un simple solver de sistemas no lineales de *n* ecuaciones con *n* incógnitas, se ha transformado en un sistema de gestión de problemas. Sin embargo, la cola-

boración de profesores y alumnos resulta imprescindible para valorar su posible aplicación a otras disciplinas. Pretendemos difundir el uso de la herramienta en el sector de las Ciencias y Técnicas del Frío, donde tiene un gran potencial. Es por ello, que animamos a todos los compañeros interesados a que la utilicen y nos informen sobre su experiencia, para poder continuar con su desarrollo de forma más dirigida y útil.

## REFERENCIAS

- [1] Klein, S.A., Alvarado, F.L. 2001. *EES-Engineering Equation Solver*. F-Chart Software, Wisconsin.
- [2] Graaff, E. D., Kolmos, A. 2007. *History of problem-based and project-based learning*. In E. d. Graaff & A. Kolmos (Eds.). Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- [3] Perrenet, J. C., Bouhuijs, P. A. J., Smits, J. G. M. M. 2000. *The suitability of problem-based learning for engineering education: Theory and practice*. *Teaching in Higher Education*, 5(3), 345-358.