



Uso de enfoques interactivos para mejorar las habilidades de resolución de problemas en Ingeniería

Ferguson, Michael - michael.ferguson@um.edu.ar

Moyano, Maria Silvana - silvina.moyano@um.edu.ar

Facultad de Ingeniería - Universidad de Mendoza

Via, Matías Alejandro - matias.via@um.edu.ar

Facultad de Ciencias de la Salud - Universidad de Mendoza

Peano, Alejandra - alejandra.peano@um.edu.ar

Nuñez, Ana María - ana.nunez@um.edu.ar

Facultad de Ingeniería - Universidad de Mendoza

RESUMEN · Actualmente, las clases prácticas de química se llevan a cabo de una manera no práctica. El simple dictado de las respuestas a los ejercicios tomados directamente de los libros de texto no aporta al desarrollo de las habilidades clave asociadas con científicos calificados. En este trabajo, proponemos un estilo nuevo, dinámico e interactivo de clases prácticas, diseñadas principalmente para mejorar las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes de grado. Usando la química de equilibrio líquido-vapor de química general de ciclo básico, ejemplificamos una metodología simple de resolución de problemas, mediante la cual se alienta a los estudiantes a pensar cómo pueden aplicar sus propios conocimientos para diseñar un experimento y analizar sus resultados.

Palabras clave — Clase práctica, Comunicación, Resolución de problemas, Desarrollo del pensamiento.

ABSTRACT · Currently, practical classes in chemistry are held in a non-practical fashion. The simple dictation of answers to sample problems taken directly from textbooks in no way develops any of the key abilities associated with qualified scientists. In this work, we propose a new, dynamic, and interactive style of practical classes that are principally designed to develop the problem-solving abilities of undergraduate students. Herein, we use simple liquid-vapour equilibrium chemistry from a level one general chemistry course to exemplify a methodology by which students are encouraged to apply their own knowledge in order to design an experiment, and analyse its results, to solve a given problem.

Keywords — Practical class, Communication, Problem solving, Thought development

»

FUNDAMENTOS → Debido a la diversidad casi innumerable de preparaciones, reacciones y técnicas de análisis, el estudio de la química debería ser fundamentalmente práctico. Sin embargo, es común encontrar “clases prácticas” diseñadas en un sentido no práctico, hasta tal punto que suelen desarrollarse como una sesión de preguntas y respuestas basada en la teoría. Típicamente, estas sesiones tienen la siguiente metodología:

1. A los estudiantes se les da una serie de ejercicios, comúnmente tomados directamente de libros de texto.
2. Se espera que los estudiantes completen los ejercicios, a menudo sin incentivo.

3. Al final de una clase basada en la teoría o en una sesión “práctica” específica, el docente completará los ejercicios dados en la pizarra, con poca o ninguna aportación de los estudiantes.

Una de las habilidades más importantes con la que debería contar cualquier ingeniero es su capacidad para tomar una idea y diseñar un experimento, in vitro o in silico, para determinar su validez. Uno no puede adquirir esta habilidad leyendo un libro de texto o simplemente siguiendo los sencillos pasos para resolver los ejercicios dados durante una clase práctica tradicional. Es esencial que se aliente continuamente a los estudiantes a pensar cómo se pueden aplicar los conceptos teóricos a un problema dado, luego probar su idea y reformularla, si es necesario. Estos tipos de situaciones deben proveerse a los estudiantes en todos los niveles del grado en ingeniería si desean desarrollar con éxito su capacidad para resolver problemas.

Otros elementos clave en la vida de un ingeniero son el trabajo en equipo y la comunicación. Por lo tanto, es una expectativa razonable que los ingenieros calificados sean competentes en estas áreas. Con la metodología aplicada actualmente, los estudiantes no tienen la oportunidad de desarrollar estas habilidades. Dentro de la metodología propuesta en este trabajo, se recomienda que los estudiantes trabajen en grupos para resolver el problema dado. De esta manera, les permitimos desarrollar de manera natural y continua las habilidades interpersonales deseadas sin el requisito de cursos dedicados.

Para implementar esto, proponemos una clase práctica en el área de química general. Más específicamente, una clase de nivel uno que se centra en el equilibrio líquido-vapor y la relación de la presión de vapor, la temperatura y el calor molar de evaporación a través de la ecuación de Clausius-Clapeyron.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA → Las fuerzas intermoleculares en un material determinan su estado de existencia a una temperatura y presión dadas. Cuando las moléculas en un material ganan, o pierden, suficiente energía el material se somete a una transición de fase. [1] En el caso de los líquidos, cuando las moléculas obtienen suficiente energía, se someten al proceso dinámico de evaporación, o vaporización, mediante el cual un líquido se transforma en gas. Una vez que las moléculas líquidas se evaporan, el vapor gaseoso ejerce presión sobre su entorno, comúnmente denominado presión de vapor. [1] Esto se demuestra fácilmente en una olla a presión, si uno abre la válvula de liberación, el vapor se moverá rápidamente del ambiente de alta presión dentro del recipiente a la habitación. Se puede demostrar fácilmente que la presión de vapor de cualquier líquido

dato aumenta con un aumento de la temperatura, como se gráficamente en la Figura 1.

La cantidad de energía requerida por una molécula de un líquido dado para que pueda vaporizarse depende de la fuerza de las interacciones intermoleculares en la fase líquida. La fuerza de estas interacciones es indicado por el calor molar, o entalpía, de la vaporización (ΔH_{vap}), que se define como la cantidad de energía requerida para vaporizar un mol de un líquido dado. Los líquidos con fuerzas intermoleculares débiles se vaporizan más fácilmente, y habrá más moléculas en la fase gaseosa por una temperatura determinada. En este caso, el ΔH_{vap} del líquido es bajo y, por lo tanto, tiene una alta presión de vapor. Por otro lado, un líquido con un alto ΔH_{vap} se mantiene unido por fuertes fuerzas intermoleculares y, por lo tanto, tiene una baja presión de vapor. [1]

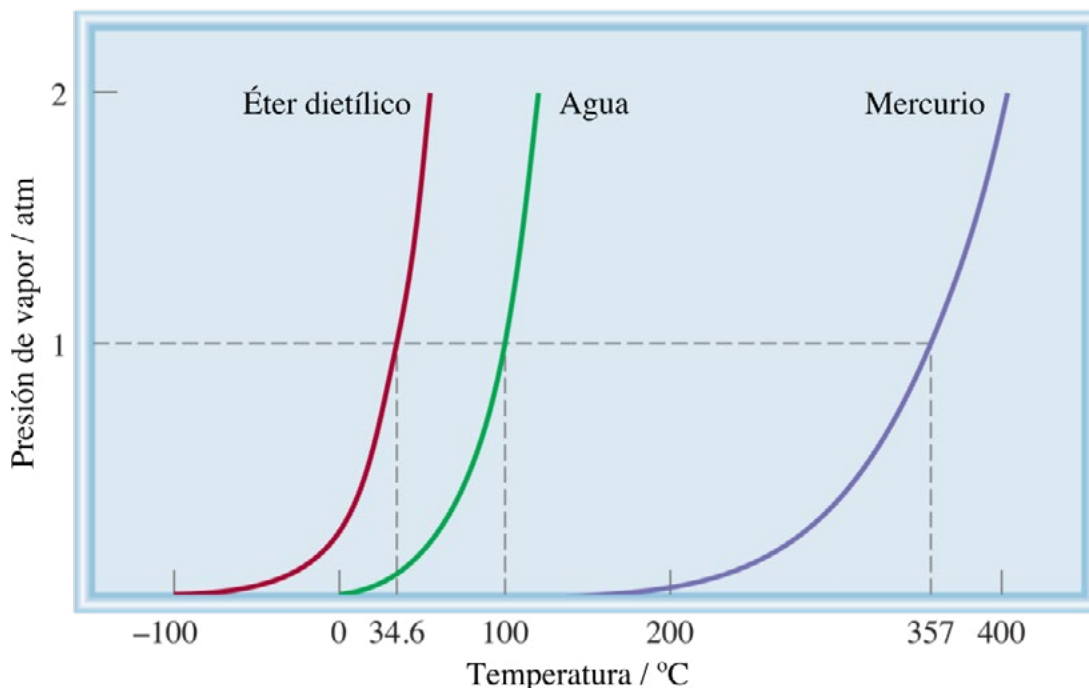


Figura 1. El aumento de la presión de vapor con la temperatura para el éter dietílico (rojo), el agua (verde) y el mercurio (azul). Las líneas discontinuas indican los puntos de ebullición de estos líquidos a la presión atmosférica. Figura reproducida de referencia. [1]

La relación entre la presión de vapor de líquidos, la temperatura y ΔH_{vap} se define cuantitativamente mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron;

$$\ln P_v = - \frac{\Delta H_{vap}}{RT} + C$$

donde P_v es la presión de vapor, R es la constante molar de gas ($8,314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T es la temperatura y C es una constante.

PROPONRIENDO LA NUEVA CLASE PRÁCTICA ➔ Esta teoría suele darse a los estudiantes para aprender los conceptos básicos y las ecuaciones de la presión de vapor y

la vaporización. En general, se acompaña de ejercicios básicos diseñados para que el estudiante reemplace la variable correcta con un valor dado para probar la validez de la ecuación. En nuestra clase propuesta, sugerimos una forma diferente, más interactiva, para que los estudiantes validen esta ecuación a través de un enfoque de resolución de problemas.

Tarea 1: Diseñar un experimento a través del cual podamos obtener la entalpía de la vaporización del agua.

Como primera etapa, el problema será descrito al estudiante. En este caso, se informaría a los estudiantes que el valor experimental para la entalpía molar de la vaporización del agua es necesario para la comparación con el valor teórico conocido. Luego, los estudiantes se formarían en grupos de tres a cuatro personas, dependiendo del tamaño de la clase, y se les daría instrucciones para diseñar un experimento de laboratorio a través del cual determinarían la entalpía de la vaporización del agua. Los estudiantes tendrán 15-20 minutos para diseñar su configuración experimental y una metodología mediante la cual puedan obtener los datos necesarios para validar la ecuación. Durante este período, el docente estaría disponible para que los estudiantes discutan sus ideas potenciales. Una vez completado el período de tiempo especificado, se pedirá a cada grupo que presente su idea a la clase para alentar una discusión general. Una vez completado esto, a los estudiantes se les mostrará la configuración experimental modelo propuesta por el docente como se muestra en la Figura 2.

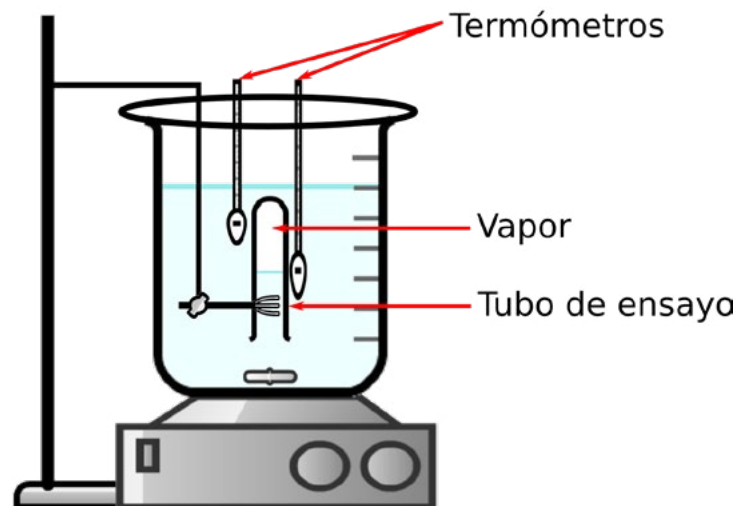


Figura 2. Configuración experimental deseada mediante la cual los estudiantes pueden obtener los puntos de datos de temperatura y volumen- gaseoso requeridos para determinar la entalpía de vaporización del agua. Figura adaptada de referencia. [2]

La metodología deseada

1. Calentar el agua con agitación ligera hasta 80°C.

2. Medir la temperatura promedio, y el volumen de gas en el tubo de ensayo.
3. Dejar de calentar, pero seguir con la agitación.
4. Tomar medidas mientras se enfríe el agua.
5. Cuando la temperatura es igual que la del ambiente, agregar hielo al sistema.
6. Mide el volumen a $T = 0\text{°C}$.

A los estudiantes se les hará una serie de preguntas sobre el experimento modelo, tales como;

1. ¿Por qué dejamos de calentar a 80°C ?
2. ¿Por qué agitamos si es sólo agua?
3. ¿Por qué es necesario tomar la medida del volumen a $T = 0\text{°C}$?

Una vez más, estas preguntas se formularán en un formato abierto a la clase y se promoverá una discusión de las respuestas. Como antes, las respuestas correctas se explicarán a la clase si los estudiantes no lo han determinado adecuadamente por sí mismos. Con el diseño experimental definido, se asignará una segunda tarea.

Tarea 2: Procesa los datos para determinar la entalpía de vaporización del agua.

Para esta tarea, se les pedirá a los estudiantes que trabajen en los mismos grupos que antes y se les dará datos representativos de las temperaturas y volúmenes, que se pueden obtener del experimento diseñado. Luego se les instruirá para presentar:

1. El proceso de análisis que emplearían para obtener el ΔH_{vap} de agua.
2. Una tabla de los datos procesados.
3. Un gráfico de los datos procesados.
4. Una comparación del valor obtenido con el de la literatura.

Para ayudar con este proceso, los estudiantes recibirán una lista de algunas suposiciones clave, tales como:

1. El gas en el tubo de ensayo es ideal.
2. $T_0 = 273,15\text{K}$.
3. $P_v = 0$ cuando $T = T_0$.
4. $P_0 = 101,325\text{kPa}$.

Los grupos tendrán entre 20-30 minutos para completar esta tarea, y el docente volverá a estar disponible para responder preguntas y/o discutir ideas con los grupos. Una vez completado el período de tiempo, cada grupo presentará su análisis a la clase, después de lo cual se demostraría el análisis esperado, como sigue:

En la primera etapa, se espera que los estudiantes recuerden algunas de las relaciones clave dadas en las clases teóricas. Inicialmente, las presiones parciales de las fases líquida

y gaseosa en equilibrio se rigen por la ley de Dalton,

$$P_v = P_0 - P_{aire}$$

donde P_v es la presión de vapor, P_0 es la presión ambiente y P_{aire} es la presión de las moléculas de aire en la fase de gas/vapor. Luego, asumiendo que el aire es un gas que obedece la ley del gas ideal,

$$PV = nRT$$

donde P es presión, V es volumen, n es el número de moles, R es la constante de gas molar y T es la temperatura, podemos determinar el número de moles de aire usando los valores de P_0 , V_0 y T_0 como sigue:

$$n_{aire} = \frac{P_0 V_0}{RT_0}$$

Luego, una vez que se conoce el número de moles de aire en la fase gaseosa, se puede determinar P_{aire}

$$P_{aire} = \frac{n_{aire}RT}{V} = \left(\frac{P_0 V_0}{T_0}\right) \frac{T}{V}$$

para cualquier temperatura y volumen medidos. Esto luego se sustituye en la ley de Dalton para obtener la presión de vapor en términos de temperatura y volumen. [2]

$$P_v = P_0 \left(1 - \frac{V_0 T}{T_0 V}\right)$$

Usando este método, los estudiantes deberán ser capaces de determinar la presión de vapor del agua en el experimento con los datos obtenidos de la bibliografía, y deberían presentarse de una manera similar a la que se ve en la Tabla 1.

T / K	V / cm ³	P _v / kPa		T / K	V / cm ³	P _v / kPa
347,65	7,90	37,00		338,65	6,60	25,00
347,25	7,80	36,00		337,55	6,50	24,00
346,55	7,70	35,00		336,65	6,40	23,00
346,25	7,60	34,00		335,65	6,30	22,00
345,85	7,50	34,00		334,55	6,20	21,00
345,15	7,40	33,00		333,65	6,10	20,00
344,55	7,30	32,00		332,45	6,00	19,00
343,95	7,20	31,00		331,15	5,90	18,00

342,65	7,10	30,00	329,65	5,80	17,00
341,85	7,00	29,00	328,15	5,70	15,00
341,25	6,90	28,00	326,66	5,60	14,00
340,45	6,80	27,00	324,65	5,50	13,00
339,55	6,70	26,00	273,15	3,95	-----

Tabla 1. Una muestra de los datos procesados esperados que presentará el estudiante en la segunda tarea. Datos obtenidos de referencia. [2]

Con la tabla completa, se espera que los estudiantes se den cuenta de que la ecuación de Clausius-Clapeyron puede verse como similar a la ecuación de una línea recta.

$$y = mx + c$$

donde en este caso $y = \ln P_v$, $m = -\Delta H_{vap}/R$, $x = 1/T$ y c es igual a la ordenada al origen. Por lo tanto, los estudiantes deben trazar una gráfica de $\ln P_v$ en función de $1/T$ como se muestra en la Figura 3.

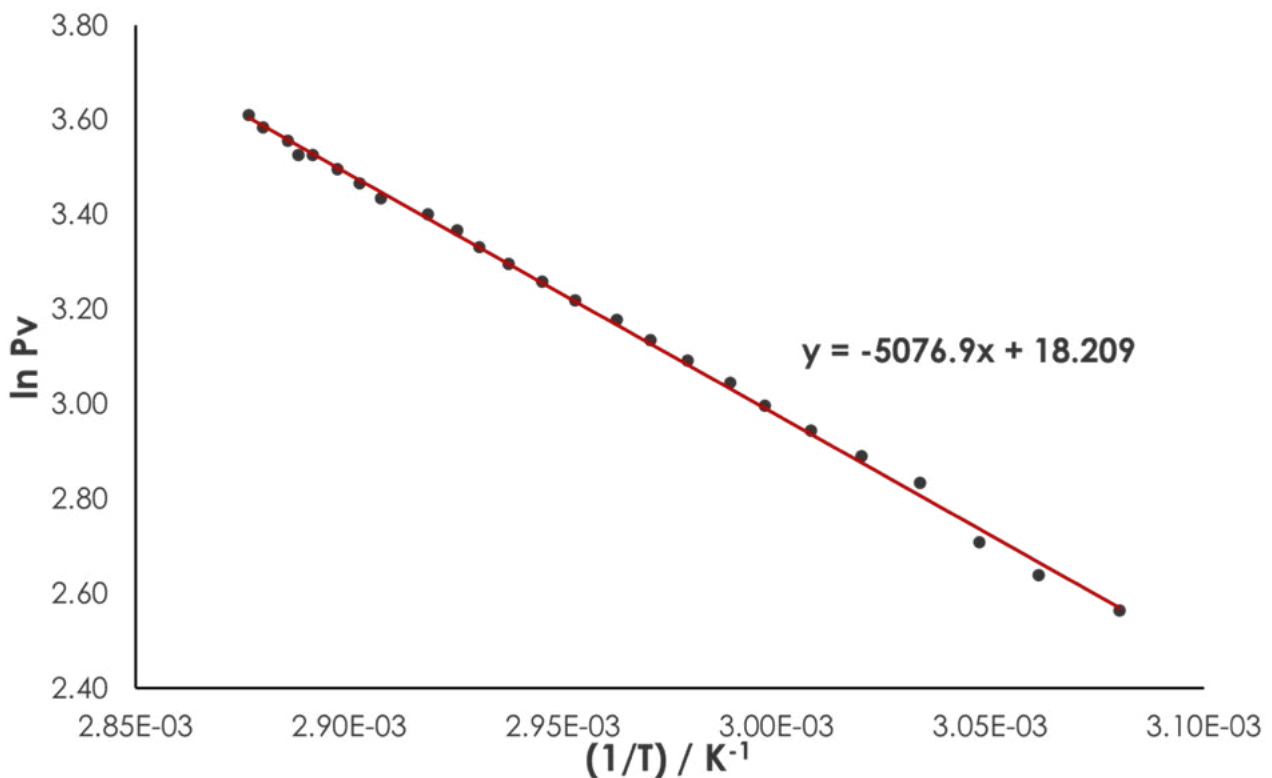


Figura 3. Una gráfica de muestra de lo que se espera que los estudiantes presenten al final de la segunda tarea con la ecuación de la línea de tendencia anotada en la gráfica.

Después de obtener el gráfico deseado, la entalpía de vaporización se puede obtener de la siguiente manera,

$$-\frac{\Delta H_{vap}}{R} = -5076,9$$

$$\Delta H_{vap} = 5076,9 \times 8,314$$

$$\Delta H_{vap} = 42211,88 \text{ Jmol}^{-1}$$

y por lo tanto el $\Delta H_{vap} = 42,11 \text{ kJmol}^{-1}$. Que luego se puede comparar con el valor de la literatura de $40,66 \text{ kJmol}^{-1}$, lo que resulta en un error de 3,8% entre los dos valores.

Como punto final de la clase, se les pedirá a los estudiantes que piensen en las posibles fuentes de error involucradas en la configuración experimental propuesta como una manera de mejorar continuamente su metodología.

ABORDAJE DIDÁCTICO ➔ Los conceptos y conocimientos básicos requeridos para esta clase práctica se darán durante las clases teóricas de química general de primer año. El calendario se preparará para garantizar que a los estudiantes se les haya enseñado este material antes de participar en la clase práctica propuesta.

Durante la clase, los estudiantes estarán expuestos a diferentes técnicas para el trabajo en grupo en las distintas etapas, tales como el trabajo compartimentado donde cada estudiante prepara una parte específica de cada tarea, o el trabajo dirigido por el estudiante donde un miembro del grupo es elegido para tomar la decisión final basándose en el sugiere de todos. Estos ejercicios permiten a los miembros del grupo desarrollar sus habilidades de comunicación a través de los debates y discusiones que ocurren naturalmente dentro de los equipos de trabajo.

Durante las clases prácticas de este estilo, los estudiantes aprenderán a aplicar sus conocimientos de química, matemáticas y física para resolver el problema dado. Esto les dará una mejor comprensión de los conceptos asociados con el perfil profesional (saber hacer). También desarrollarán competencias interpersonales que contribuirán a su formación profesional (saber ser). [3]

Se espera que los estudiantes propongan soluciones creativas al problema dado durante este estilo de clase práctica. Esto les permite la oportunidad de aprovechar las herramientas tecnológicas disponibles actualmente para ayudar a resolver el problema.

EVALUACIÓN ➔ La evaluación realizada por el docente será de manera continua considerando que el estudiante sea capaz de:

- Identificar, formular y resolver el problema de manera clara y precisa.

- Optimizar la estructuración de pensamientos que a su vez ayuda con el punto anterior.
- Adaptarse a los ajustes necesarios durante el desarrollo del problema.
- Documentar el proceso de la resolución del problema en una forma lógica y clara.
- Contribuir y discutir sus ideas con los otros miembros de su grupo y luego con la clase.
- Comunicar sus ideas con efectividad y lenguaje apropiado.
- Aprender en forma continua.

El aspecto continuo de la evaluación se basará en los conocimientos académicos, en el desarrollo de las habilidades de resolución de problemas y en las actitudes de los estudiantes durante todas las sesiones prácticas a lo largo del semestre. El registro de la evaluación será plasmado en listas de cotejo desarrolladas por el equipo de cátedra para ese fin específico.

Por otro lado, se llevará adelante una autoevaluación del estudiante después de cada tarea sobre el estilo de aprendizaje, las estrategias adoptadas, los recursos utilizados, las posibles mejoras y las habilidades interpersonales, a través de una encuesta en la cátedra virtual.

El rol del docente en estas clases interactivas es actuar como mediador entre los estudiantes y los conceptos teóricos del material. Está allí para guiar a los estudiantes durante la clase, sin simplemente dictar la solución. El docente no debe criticar las respuestas incorrectas, sino que debe intentar comprender el razonamiento detrás de las respuestas de los estudiantes. Luego, puede resaltar un punto importante de la teoría, o un detalle en las instrucciones, para permitir que los estudiantes reformulen sus ideas y así avanzar a la siguiente etapa de la clase. Mientras tanto, el docente debería estar evaluando a los estudiantes en las áreas mencionadas. •

▣ REFERENCIAS

[1] R. Chang, Chemistry, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

[2] S. Gesari, B. Irigoyen and A. Juan, "An experiment on the liquid–vapor equilibrium for water", *American Journal of Physics*, vol. 64, no. 9, pp. 1165-1168, 1996.

[3] Consejo Federal de Decanos de Ingeniería - CONFEDI, Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina, "*Libro Rojo de CONFEDI*", 1st ed. Mar del Plata: Universidad FASTA Ediciones, 2018.