

Termoquímica de las calderas domésticas de condensación: un caso de aprendizaje contextualizado por indagación dirigida

Termoquímica de les calderes domèstiques de condensació: un cas d'aprenentatge contextualitzat per indagació dirigida

Thermochemistry of domestic condensing boilers: a case of contextualized and inquiry-guided learning

Gabriel Pinto / Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Ingenieros Industriales



resumen

Se proponen cuestiones para que los alumnos indaguen sobre aspectos relacionados con las calderas de condensación, que producen agua líquida en vez de vapor. Los objetivos son los siguientes: favorecer el aprendizaje de conceptos (termoquímica, combustión, gas natural, etc.); promover la motivación de alumnos y profesores; fomentar enfoques ciencia–tecnología–sociedad, y colaborar en la formación de competencias (indagación, resolución de problemas, análisis de datos, trabajo en equipo, etc.). Se promueve el pensamiento crítico y la formación en «química del consumidor», tratando aspectos como los motivos de la ayuda pública para la instalación de estas calderas y el empleo de la factura del gas como fuente de información.

palabras clave

Termoquímica, combustión, gas natural, química del consumidor, aprendizaje por indagación, pensamiento crítico.

resum

Es proposen qüestions perquè els alumnes indaguin sobre aspectes relacionats amb les calderes de condensació, que produeixen aigua líquida en lloc de vapor. Els objectius són els següents: afavorir l'aprenentatge de conceptes (termoquímica, combustió, gas natural, etc.); promoure la motivació d'alumnes i de professors; fomentar enfocaments ciència–tecnologia–societat, i col·laborar en la formació de competències (indagació, resolució de problemes, anàlisi de dades, treball en equip, etc.). Es promou el pensament crític i la formació en «química del consumidor», i es tracten aspectes com ara els motius de l'ajuda pública per a la instal·lació d'aquestes calderes i l'ús de la factura del gas com a font d'informació.

paraules clau

Termoquímica, combustió, gas natural, química del consumidor, aprenentatge per indagació, pensament crític.

abstract

This article describes questions proposed for students to inquiry about aspects related to condensing boilers, which produce liquid water instead of steam. The goals are to facilitate the learning of concepts (enthalpy change, combustion, natural gas, etc.); to promote teachers and students' motivation; to promote the understanding of the relationship between science and technology, and to collaborate on the training of skills (inquiry, problem solving, data analysis, teamwork, etc.). It promotes training in critical thinking and in «consumer chemistry», because of the discussion of aspects such as the causes of public support for the installation of condensing boilers and the use of invoices as an information source.

keywords

Thermochemistry, combustion, natural gas, consumer chemistry, inquiry-based learning, critical thinking.

Introducción: innovación educativa en la práctica docente

Entre los retos que se plantean en la enseñanza de las ciencias experimentales para los distintos niveles educativos, se pueden destacar los siguientes:

- La introducción de la innovación educativa en la práctica docente (Smith *et al.*, 2005; Rocard, 2007) mediante aspectos como el aprendizaje basado en problemas y en la indagación (Yeomans, 2011), las aproximaciones interdisciplinarias, el rediseño de contenidos (profundizando en su contextualización), el aprendizaje cooperativo y el uso de ordenadores gráficos (como los mapas conceptuales).

- El empleo de las tecnologías de la información y la comunicación, incorporando herramientas como las redes sociales, las aulas virtuales (Cuadros, 2010) o los teléfonos inteligentes, de forma óptima hacia los alumnos, integrantes de la «generación digital» (Williams y Pence, 2011).

- La formación en competencias específicas (conceptos, resolución de problemas, manejo del instrumental de laboratorio, etc.) y genéricas o transversales (Oliveras y Sanmartí, 2009).

- En el ámbito universitario, el desarrollo del sistema de crédito ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System), que comporta «un nuevo modelo educativo que ha de orientar las programaciones y metodologías docentes centrándolas en el aprendizaje de los estudiantes» [1].

- El uso de formas variadas de evaluación, como el análisis del portafolio del alumno o el empleo de rúbricas (Felder y Brent, 2010).

Con objeto de mostrar un ejemplo de cómo se pueden abordar algunos de estos retos, se expone una tarea investigativa que el autor propone a sus

alumnos de química de primer curso universitario (grados en Ingeniería en Tecnologías Industriales y en Ingeniería Química) y que puede adaptarse a otros entornos. Así, se plantean cuestiones para que los estudiantes indaguen sobre aspectos relacionados con las calderas domésticas de condensación, que producen agua líquida en vez de vapor [2] y cuyo uso se promueve mediante ayudas públicas por el ahorro energético que suponen, y para que constaten su mayor eficiencia energética.

Descripción de la tarea investigativa y consideraciones didácticas

En una caldera convencional, se quema un combustible (por ejemplo, gas natural) con el oxígeno del aire, y los gases calientes producidos (esencialmente, CO_2 , H_2O y el N_2 del aire) pasan por un intercambiador de calor, donde se calienta agua que se distribuye por una red de tuberías para usarla como agua sanitaria y para el circuito de la calefacción. Es un ejemplo

práctico de física: el calor se transmite por radiación de la propia llama, por conducción y por convección.

En una caldera de condensación, se extrae calor adicional de los gases residuales de la combustión al condensar el vapor de agua (se recupera así el calor latente del cambio de estado), con lo que aumenta la eficiencia energética. Es de mayor complejidad (y por ello más cara) que la caldera convencional, ya que requiere un intercambiador de calor adicional para la condensación, así como un sistema de drenaje y desagüe con materiales resistentes a la acción del condensado ácido formado y, por ese mismo efecto, con un tratamiento neutralizador.

El conocido como «Plan Renove» de calderas individuales es una de las actuaciones del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España [3], que promueve el uso de calderas de condensación en sustitución de las convencionales. En la fig. 1 se muestran anuncios



Figura 1. Información sobre ayudas públicas para instalar calderas de condensación.



Figura 2. Información sobre calderas de condensación de la empresa Vaillant en Internet.

publicados al respecto, en concreto, en bonos de descuento que se distribuyen con periódicos y en centros públicos. Anuncios similares de compañías de instalación de calderas aparecen en prensa e Internet (fig. 2).

En la actividad propuesta se pretende comparar la energía obtenida en ambas calderas para un mismo consumo de gas natural, para apreciar si son más eficaces energéticamente las calderas de condensación. Para ello, se inicia una discusión previa en el aula para decidir qué procedimiento puede seguirse y qué datos será preciso obtener.

La tarea se estructura a través de cuestiones que implican la obtención de datos (composición del gas natural, calores de combustión, masas atómicas, etc.), aproximaciones, cálculos, cambios de unidades, evaluación del resultado, consideraciones ambientales, etc. Dichas cuestiones se muestran, juntamente con las posibles soluciones, en el apartado siguiente.

Se sugiere a los alumnos que trabajen, fuera del horario de clase y en cortos periodos del mismo, en equipos de tres, y que consulten al profesor a medida que avancen en su desarrollo. Cada grupo trabaja con datos diferentes, por lo que se evita que se puedan copiar fácilmente las soluciones y de modo que no haya un único resultado para toda la clase.

Con esta tarea se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- Colaborar en la formación en competencias básicas en ciencias, como son la indagación, la resolución de problemas, el análisis y la búsqueda de datos, la elaboración de trabajos escritos, el empleo de las unidades adecuadas, la elaboración de tablas de datos y resultados y el trabajo en equipo.

- Favorecer el proceso de aprendizaje de conceptos (composición del gas natural, expresión de concentraciones, entalpía de combustión, estequiometría, etc.) y procedimientos.

- Promover el pensamiento crítico y la formación en «química del consumidor», discutiendo sobre aspectos como los motivos de la financiación pública de ayudas para la instalación de estas calderas y el empleo de una factura de gas como fuente de datos.

- Promover la motivación de alumnos y profesores y facilitar el empleo de herramientas educativas innovadoras.

Es una actividad basada en la indagación dirigida o investigación guiada, metodología que promueve el aprendizaje mediante preguntas de resultado abierto en que el proceso de investigación es incluso más valorado que el propio resultado numérico final (Martin-Hansen, 2002; Caamaño, 2012).

También es un ejemplo de aprendizaje basado en problemas, dado que la adquisición de conocimientos y habilidades tiene

lugar por la necesidad de resolver un problema determinado que está relacionado con temas de interés para los alumnos (Gurses et al., 2007). Se promueve el trabajo cooperativo de los alumnos, que piensan y desarrollan vías de resolución del problema de forma colectiva (Gorchs, 2009). Además, es una buena herramienta para detectar concepciones alternativas y errores conceptuales en los alumnos.

Secuencia estructurada de cuestiones y posibles respuestas

Se expone a continuación la secuencia de cuestiones planteadas y, de forma breve, ejemplos de respuestas que pueden darse.

a) Recoged en una tabla una composición típica del gas natural, expresada en porcentaje en volumen y en fracción molar, incluyendo las fórmulas de las sustancias

El gas natural es una mezcla de gases, principalmente hidrocarburos, que se encuentra en formaciones geológicas porosas que a menudo almacenan petróleo (Hillard, 1998). Aunque la composición varía, su principal componente es el metano. Una composición (en porcentaje en volumen, como se da en la fuente original, y en fracción molar) típica del gas natural se muestra en la tabla 1 [4]. En la tabla 2 se muestra otro ejemplo (con mucha mayor proporción de etano) en que, en vez de intervalos, se ofrecen valores muy precisos [5]. Un valor tan preciso se debe referir bien a un análisis puntual, bien a un valor medio, y, por lo tanto, sería más adecuado valorar composiciones del tipo de la expuesta en la tabla 1. Se pretende que los alumnos indaguen en distintas fuentes y perciban que la forma de expresar los datos no es siempre la misma.

Tabla 1. Composición del gas natural según la empresa canadiense Union Gas

Sustancia	Fórmula química	Composición del gas natural	
		% (vol.)	Fracción molar
Metano	CH ₄	87,0-96,0	0,870-0,960
Etano	C ₂ H ₆	1,5-5,1	0,015-0,051
Propano	C ₃ H ₈	0,1-1,5	0,001-0,015
Isobutano	C ₄ H ₁₀	0,01-0,3	0,0001-0,003
Butano	C ₄ H ₁₀	0,01-0,3	0,0001-0,003
Isopentano	C ₅ H ₁₂	Traza-0,14	Traza-0,0014
Pentano	C ₅ H ₁₂	Traza-0,14	Traza-0,0014
Nitrógeno	N ₂	0,7-5,6	0,007-0,056
Dióxido de carbono	CO ₂	0,1-1,0	0,001-0,010
Oxígeno	O ₂	0,01-0,1	0,0001-0,001
Hidrógeno	H ₂	Traza-0,02	Traza-0,0002

Tabla 2. Composición del gas natural según la empresa GasNatural Fenosa en Colombia

Sustancia	Composición del gas natural	
	% (vol.)	Fracción molar
Metano	81,86	0,8186
Etano	11,61	0,1161
Propano	1,92	0,0192
Isobutano	0,23	0,0023
Butano	0,22	0,0022
Nitrógeno	0,90	0,0090
Dióxido de carbono	3,18	0,0318

El gas natural puede transportarse por tuberías en fase gas (gasoductos) o por barco en forma de gas licuado (Díaz Fernández, 2004). Los alumnos deberían prestar atención sobre si la fuente de datos de composición se refiere al gas natural en forma de gas o licuado, así como a las unidades correspondientes.

b) Recoged en otra tabla la composición de un gas natural «tipo», expresada en fracción molar y en porcentaje en masa, considerando solo los dos hidrocarburos mayoritarios para simplificar los cálculos

Un gas «tipo» o modelo, de acuerdo con lo solicitado para

simplificar los cálculos posteriores, podría ser el que se recoge en la tabla 3. Cada grupo de alumnos debería proponer unos valores que difícilmente pueden ser

Tabla 4. Valores de $\Delta_f H^\circ$ de las sustancias implicadas en la combustión del gas natural

Sustancia	Entalpía de formación, $\Delta_f H^\circ$ (kJ/mol)		
	Fuente 1 [6] (a 298,15 K y 1 bar)	Fuente 2 [7] (a 298 K y 1 atm)	Fuente 3 [8] (a 298 K y 1 bar)
CH ₄ (g)	-74,6	-74,9	-74,9
C ₂ H ₆ (g)	-84,0	-84,7	-83,7
CO ₂ (g)	-393,51 ± 0,13	-394	-393,509
H ₂ O(g)	-241,826 ± 0,040	-242	-241,818
H ₂ O(l)	-285,830 ± 0,040	-286	-285,830

Tabla 3. Composición simplificada de un gas natural «tipo»

Sustancia	Composición del gas natural	
	Fracción molar	% masa
Metano	0,850	75,1
Etano	0,150	24,9

idénticos. Para pasar de la composición en fracción molar a la composición en porcentaje en masa, se deben utilizar las masas molares del metano y del etano.

c) Elaborad una tabla donde se recojan los datos de $\Delta_f H^\circ$ (kJ/mol) de los dos gases del apartado anterior y de las siguientes sustancias: CO₂(g), H₂O(g) y H₂O(l). Consultad fuentes adecuadas

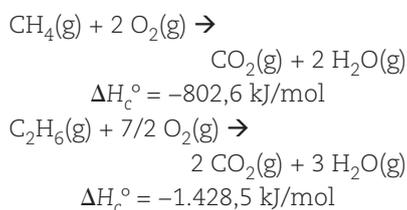
Al quemarse el metano y el etano con el oxígeno del aire, se produce CO₂ y H₂O. En la tabla 4 se recogen los datos de las entalpías de formación estándar, $\Delta_f H^\circ$, de las sustancias implicadas en las dos posibles combustiones (dando agua gas o líquida) del gas natural propuesto en el apartado anterior.

Como se aprecia en esta tabla, los valores se dan para condiciones estándar de 298 K (se llega a precisar 298,15 K) y 1 atm o 1 bar. Es una buena ocasión para discutir con los alumnos el significado de condiciones estándar y la leve diferencia que existe entre considerar 1 atm o 1 bar (1 atm = 101 325 Pa = 1,01325 bar).

La definició actual de condicions estàndar està referida a 1 bar. També se pot discutir la distinta precisió con la que se proporcionan los datos de acuerdo con el proceso experimental de medida.

d) Calculad la variación de entalpía de combustión (en kJ/mol) del gas natural «tipo», a 25 °C, suponiendo que el agua se obtiene como gas

Tomando los valores de entalpías de formación de la fuente 1 y considerando las dos reacciones ajustadas de combustión implicadas, se obtiene:



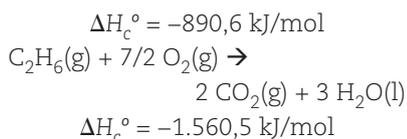
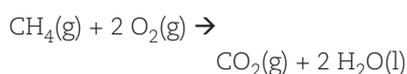
La consideración de diferentes fuentes de datos hace que los valores de ΔH_c° varíen en los resultados de los alumnos, aunque siempre serán parecidos, si la fuente es rigurosa.

La variación de entalpía de combustión del gas natural con la composición «tipo», en condiciones estándar, es $0,85 \cdot (-802,6 \text{ kJ/mol}) + 0,15 \cdot (-1428,5 \text{ kJ/mol}) = -896,5 \text{ kJ/mol}$.

Plantear este cálculo no suele ser sencillo para los alumnos, que suelen requerir la ayuda del profesor. El valor obtenido por los que realizaron este apartado correctamente osciló entre -850 kJ/mol y -930 kJ/mol .

e) Repetid el cálculo del apartado anterior suponiendo que el agua se obtiene líquida

Siguiendo el razonamiento del apartado anterior, los valores de ΔH_c° , obteniéndose agua líquida, son los siguientes:



La variación de entalpía de combustión del gas natural con la composición «tipo», en condiciones estándar y en este caso, es $0,85 \cdot (-890,6 \text{ kJ/mol}) + 0,15 \cdot (-1.560,5 \text{ kJ/mol}) = -991,1 \text{ kJ/mol}$.

El resultado de los alumnos que procedieron correctamente varió entre -940 kJ/mol y -1.020 kJ/mol .

f) Con los datos de los dos apartados anteriores, determinad la cantidad de gas natural (mol) que habría que utilizar en una caldera de condensación, por cada mol de gas natural que se emplearía en el otro tipo de caldera, para obtener la misma energía. Comentad las implicaciones económicas y sociales asociadas a este resultado

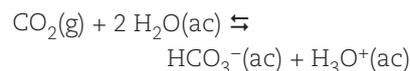
Este apartado constituye, probablemente, una de las aportaciones más interesantes del trabajo, pues permite cuantificar el ahorro en combustible que implica el uso de calderas de condensación. Aplicando lo obtenido en los dos apartados anteriores, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{896,5 \text{ kJ/mol de gas en caldera convencional}}{991,1 \text{ kJ/mol de gas en caldera condensación}} &= \\ = 0,905 \text{ mol de gas en caldera condensación/mol de gas en caldera convencional} \end{aligned}$$

Los alumnos obtuvieron valores de entre 0,90 y 0,91 para esta magnitud, lo que implica un ahorro del orden del 10 % del gas con el uso de calderas de condensación. Esta es la razón principal (aparte de aspectos ambientales que se comentarán después) de que un país como España, importador de gas natural, promueve su uso [9].

g) Razonad si el agua obtenida en la caldera de condensación es ácida. Pensad qué repercusiones puede tener este hecho

El dióxido de carbono que se produce en la combustión, como se observa en las ecuaciones químicas del apartado e), se disuelve en el agua de condensación, que adquiere así carácter ácido:



Además, se forman, por reacción entre el O_2 y el N_2 del aire a la temperatura alcanzada en la combustión, pequeñas cantidades de NO y NO_2 , que, en contacto con el agua de condensación, forman HNO_3 . Se introduce así parte de la problemática técnica que conlleva la utilización de las calderas de condensación, dado que es necesario tratar el condensado, con pH entre 3 y 5 [2], mediante productos básicos, antes de evacuarlo al desagüe [9].

h) Consultando una factura del gas, indicad la energía obtenida (kWh) por unidad de volumen (m^3) de gas consumido

En la fig. 3 se recoge un fragmento de una factura del gas. Entre otros datos, se incluye el valor de «conversión» de volumen

de gas y energía. En este caso, 1 m^3 proporciona $10,704 \text{ kWh}$. Este valor varía, pues las compañías proveedoras hacen un promedio del gas que reciben, y depende de varios factores, como la propia localidad donde se acceda al gas [10]. Los detalles asociados a su normalización no son elementales para los alumnos. El dato se ofrece, según las compañías, con

precisiones muy diferentes (algunos ejemplos son 10,6 kWh y 10,916667 kWh). El kWh no es una unidad de energía habitual en química, pero para los alumnos debería ser familiar por sus estudios de física.

i) Determinad, explicando detalladamente los cambios de unidades, la energía (kJ/mol) que puede producir cada mol de gas natural en su combustión a partir del valor de energía por unidad de volumen del apartado anterior

Teniendo en cuenta que, en condiciones normales (0 °C y 1 atm), 1 mol de gas ideal ocupa 22,4 L, el valor solicitado en esta cuestión se puede calcular:

$$\frac{1 \text{ m}^3}{22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}} = 44,64 \text{ mol}$$

$$\frac{10,704 \text{ kWh} \cdot 3600 \text{ kJ/kWh}}{44,64 \text{ mol}} = 863,2 \text{ kJ/mol}$$

Se considera especialmente relevante que los alumnos aprecien que lo que estudian sirve para interpretar normativa y legislación, algo que deben conocer como usuarios y consumidores.

j) Comparad la energía del apartado anterior con las calculadas en los apartados d) y e)

En este caso, el valor obtenido con los datos de la factura es del orden de magnitud de los resultados de los apartados d) y e). No obstante, se aproxima más al valor de una caldera convencional.

k) Calculad la masa de dióxido de carbono (kg) que se habrá desprendido por el consumo de gas indicado en la factura tomando como ejemplo, de nuevo, el gas «tipo» del apartado b)

Según indica la factura de la fig. 3, se consumieron en dos meses 280 m³ de gas. Este volumen, medido en condiciones normales, corresponde a 1,25 · 10⁴ mol de gas



Figura 3. Detalle de una factura de la compañía GasNatural Fenosa. Incluye información de ahorro energético.

natural. Según la estequiometría de las reacciones para el gas «tipo» (véanse los apartados anteriores), implica una emisión de CO₂ de:

$$1,25 \cdot 10^4 \text{ mol gas natural} \times \left(0,85 \frac{\text{mol CH}_4}{\text{mol gas natural}} \cdot \frac{1 \text{ mol CO}_2}{\text{mol CH}_4} + 0,15 \frac{\text{mol C}_2\text{H}_6}{\text{mol gas natural}} \cdot \frac{2 \text{ mol CO}_2}{\text{mol C}_2\text{H}_6} \right) = 1,44 \cdot 10^4 \text{ mol CO}_2$$

Multiplicando esta cantidad de CO₂ por su masa molar (0,044 kg/mol), se obtienen 633 kg CO₂ desprendidos. Es decir, se desprenden del orden de 2,2 kg CO₂/m³ gas natural.

Si estos cálculos se establecen considerando la temperatura de medida de volumen de gas en el contador a 25 °C, se obtienen 1,15 · 10⁴ mol gas natural consumidos y 581 kg CO₂ desprendidos. Los alumnos deben elegir la temperatura a la que operar (normalmente, 0 °C o 25 °C). En cualquier caso, salen valores bastante homogéneos que oscilan entre 2,00 y 2,30 kg CO₂/m³ gas natural.

Con este apartado no se pretende tanto que los alumnos cuantifiquen de forma exacta la emisión de CO₂ como que evalúen de qué modo se puede determinar

de forma aproximada. Así podrían comprender cómo se puede evaluar la «huella de carbono» por vivienda, tipos de viajes, etc. [11]

l) Detallad las aproximaciones realizadas en el trabajo

Se pretende que los alumnos descubran que las aproximaciones son necesarias en muchos cálculos reales. Por ejemplo, se ha establecido una composición de gas «tipo» simplificada con los dos gases mayoritarios porque se desconoce la composición del gas natural utilizado (varía con el tiempo y la fuente). Se ha operado, para pasar del volumen de gas

aportado en la factura a moles, considerando condiciones normales. También se han considerado los calores de combustión en condiciones estándar a 25 °C, pero los gases de combustión salen a unos 150-180 °C en calderas convencionales y a unos 55 °C en las de condensación.

m) Comentad cualquier aspecto que se considere de interés en relación con la sostenibilidad, el medio ambiente, la subvención de las calderas de condensación, etc.

Se busca que, con la ayuda del profesor, los alumnos profundicen en cualquier tipo de temática que pueda resultarles cercana o curiosa. Por ejemplo, la discusión del propio anuncio (la caldera «humanizada» de la fig. 1 tiene en una mano el símbolo del euro, para representar el ahorro que causa, y en la otra, una gota de agua, que esquematiza la condensación) puede ser adecuada en alumnos de educación secundaria para tratar enfoques ciencia–tecnología–sociedad.

Según lo indagado por el grupo de alumnos y su nivel, podría ser interesante sugerir que intenten profundizar en la diferencia entre el poder calorífico superior (PCS) y el inferior (PCI) de un combustible, que depende de si el calor desprendido en su combustión se produce con formación de agua líquida o gas, respectivamente.

También se puede incidir en el ahorro que un particular puede realizar con el uso de la caldera de condensación [12] y en otras iniciativas de ahorro energético, como la ilustrada en la fig. 4. Este tipo de acciones de ahorro energético que se proponen frecuentemente en los medios de comunicación dependen de aspectos fisicoquímicos que se pueden discutir en clase, y son importantes para la formación de ciudadanos con criterio.



Figura 4. Ejemplo de información sobre ahorro energético de la empresa GasNatural Fenosa.

Análisis de las respuestas de los alumnos

Como se ha indicado, los alumnos realizan el trabajo en grupo (fig. 5) y se les recomienda que consulten al profesor durante

su desarrollo; se potencia así la actividad tutorial. Según vayan avanzando, el profesor les puede sugerir otras tareas añadidas.

La actividad sirve también para comprobar si los alumnos presentan concepciones alternativas y otros aspectos del proceso de aprendizaje. Por ejemplo, en algún grupo, al comentar la condensación del agua, se señala que es un proceso del tipo $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$.

Se observa cierta dificultad en los alumnos para encontrar fuentes adecuadas de información. Por ejemplo, casi la cuarta parte de los grupos, al trabajar sobre la composición del gas natural, recogía la tabla 2, por ser una de las primeras a las que se accede con buscadores de Internet, sin reparar en que la precisión de los valores no es propia de una fuente natural de composición variable. Hay grupos que seleccionan composiciones de gas natural que suman más del 100 %



Figura 5. Alumnos trabajando en equipo sobre el problema planteado.

o que no llegan al 90 %. A la hora de elaborar las tablas con la composición, los alumnos reproducen a veces errores de las fuentes originales, como denominar *elementos* a lo que son compuestos o *hidrocarburos* a sustancias como CO₂, N₂ y H₂S.

Al establecer una composición del gas natural «tipo» [apartado b)] para facilitar los cálculos, hay alumnos que eligen composiciones de metano y etano, con valores tan precisos como 86,75 % y 13,25 %, respectivamente. Un error frecuente para la propuesta de gas «tipo» consiste en tomar los datos directamente de la composición global del gas, sin considerar que hay que despreciar los otros componentes para simplificar cálculos.

Casi todos los alumnos encuentran valores adecuados de $\Delta_f H^\circ$, pero si se equivocan en un dato, arrastran el error en los resultados posteriores. Curiosamente, el uso del símbolo KJ en vez de kJ está muy extendido, así como múltiples maneras erróneas de expresar la unidad kWh.

También se observan ciertas deficiencias en conceptos y métodos básicos. Así, por ejemplo, un error típico que se comete en el cálculo del calor de combustión [apartados d) y e)] es considerar una reacción global del tipo $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + 1 \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$. Se obtienen así valores muy elevados, ya que se considera, sin ser conscientes de ello, que se trabaja con un mol de metano y otro de etano, y no uno en total con la composición elegida. Este error se repite cuando los alumnos deben calcular el CO₂ desprendido, que por ello sale muy elevado.

La mayor parte de los alumnos se da cuenta de que el uso de la caldera de condensación supone una disminución del consumo de combustible, aspecto central del problema. En concreto, un grupo expresaba: «No solo repercute en

el usuario, sino también en el país, con lo que se facilita su uso a generaciones venideras».

En los razonamientos sobre si el agua obtenida en la caldera de condensación es ácida, es curioso que los alumnos incidan más en el carácter ácido que se deriva de la producción de pequeñas cantidades de NO y NO₂ que del propio CO₂ formado. Ello quizá sea debido a la insistencia sobre ese punto en Internet. Cuando algunos razonan sobre el efecto del CO₂ en la acidez del condensado, indican que «no será muy ácida, porque el ácido carbónico es débil», despreciando la importancia de la concentración.

Al pedir que razonen sobre las aproximaciones realizadas, muchos alumnos describen las ya citadas anteriormente, pero otros dirigen su respuesta solo hacia el redondeo de valores. Un grupo destacó: «Siempre hemos redondeado al alza con dos decimales».

Los comentarios sobre aspectos de interés para el medio ambiente a veces son exagerados. Hay quien indica que el uso de calderas de condensación «permite el perfecto equilibrio con el medio ambiente». En otros casos, manifiestan una imagen algo «mágica» de la ciencia y la técnica.

Como en otro tipo de trabajos con preguntas de carácter abierto, se observa aquí una tendencia a copiar información (especialmente de Internet, casi nunca de libros u otros textos impresos) sin conocer en muchos casos el significado de lo copiado.

Estas consideraciones de aspectos negativos van acompañadas de razonamientos bastante óptimos que permiten constatar que muchos alumnos están interesados en lo que aprenden y que tienen inquietudes científico-tecnológicas. Es evidente, además, que con metodologías de carácter más investigativo e inductivo los alumnos son capaces de movilizar

conocimientos y habilidades difíciles de aflorar en planteamientos docentes más transmisivos y convencionales.

Por otra parte, la comparación entre valores calculados por distintos equipos les ayuda a comprender el sentido cuantitativo de la química y la existencia de aproximaciones en los cálculos.

Hay alumnos que sienten cierto desasosiego cuando, al ir solucionando los apartados, ven que no hay un único valor final adecuado, como suele ocurrir en los problemas «tradicionales», sino que depende de la fuente de datos consultada y de las simplificaciones y aproximaciones realizadas.

En la discusión en el aula, surgen temas de interés, incluso a veces no previstos por el profesor, lo que es especialmente enriquecedor. Cabe destacar también el elevado potencial de este tipo de actividades en cuanto a la dinamización de la actividad tutorial.

Ampliación de la actividad

Con la resolución del problema, los alumnos tendrían que apreciar que las calderas de condensación tienen ventajas frente a las convencionales, como el ahorro de consumo de combustible y la reducción de emisiones de CO₂, pero también que tienen un precio más elevado por cuestiones técnicas. Las importantes ventajas hacen que sean financiadas parcialmente por los poderes públicos para facilitar su instalación.

Otro tema que puede tratarse con distinto detenimiento es cómo funcionan las calderas convencionales y las de condensación (fig. 6) [9]. También se puede hacer énfasis en la necesidad de que toda caldera debe llevar una chimenea para la salida de los gases de combustión. Se puede sugerir a los alumnos que estén presentes en la revisión de la caldera de su casa para ver cómo funciona.

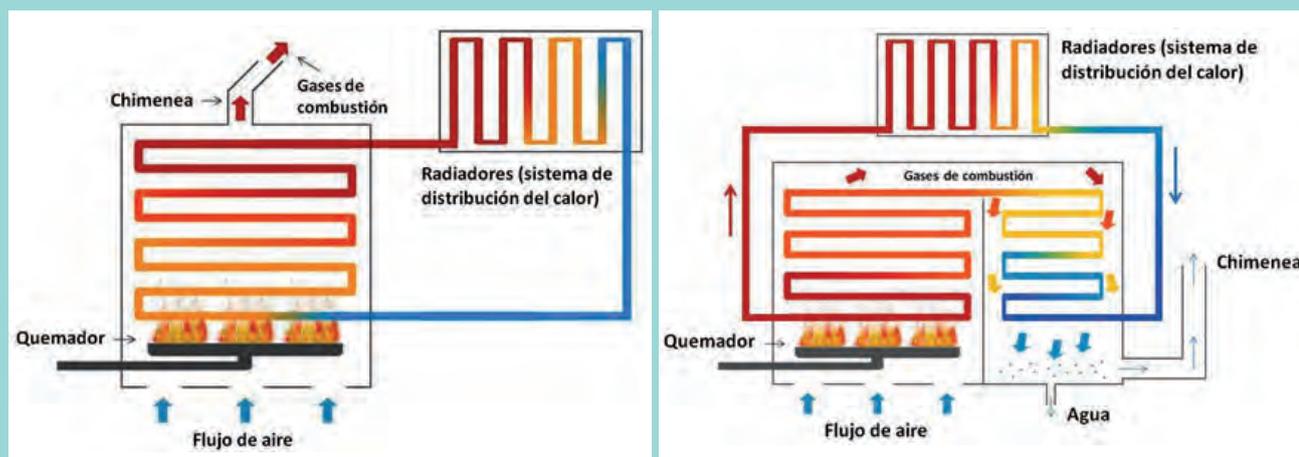


Figura 6. Esquemas de funcionamiento de una caldera convencional (izquierda) y de una caldera de condensación (derecha). El agua de color rojo, naranja o azul indica que está de mayor a menor temperatura, respectivamente.

A nivel más químico, datos como los recogidos en las tablas 1 y 2 pueden dar pie a que los alumnos trabajen temas como la formulación, al plantearse qué diferencia hay entre *isobutano* o *butano*, por poner un ejemplo. También podrían calcular la cantidad de agua condensada que se obtiene en función del gas consumido.

Otros temas, como la sostenibilidad, los recursos naturales, el efecto invernadero, etc., pueden ser abordados con distinta profundidad. Por ejemplo, existe una controversia sobre la idoneidad de la técnica de fracturación hidráulica (*fracking* o *hydraulic fracturing*), con la que se extrae gas natural absorbido en sustratos rocosos (como pizarras) mediante perforaciones de hasta 5 kilómetros y la inyección de agua, arena y ciertos productos químicos que provocan la fractura de las rocas, que así liberan minúsculas burbujas de gas contenidas en su interior. La controversia proviene del enorme consumo de agua necesario y de la posible contaminación por las sustancias inyectadas, al salir al exterior y en acuíferos subterráneos (Howarth et al., 2011).

Problemas análogos pueden plantearse con otros combustibles de calderas domésticas, como el fuelóleo, el gasóleo o la biomasa,

proveniente de fuentes renovables como residuos forestales, huesos de aceituna o cáscaras de frutos secos.

Conclusiones

Algunos aspectos positivos observados en los alumnos con esta actividad son los siguientes:

- Permite que aprecien la utilidad de los conocimientos químicos, ya que con ellos interpretan cuantitativamente datos reales, lo que crea motivación frente al aprendizaje.
- Valoran el hecho de trabajar con problemas prácticos, abriéndoseles un camino para solucionar otros problemas.
- Les ayuda a organizarse y a aprender a trabajar en grupo.

Este tipo de metodología requiere tiempo y trabajo por parte del alumno, pero la naturaleza del conocimiento adquirido, si se realiza con interés, es más duradera. También se requiere un esfuerzo extra del profesor para seguir el desarrollo de los alumnos, ayudarles y corregir sus errores.

En alumnos de ingeniería es especialmente idóneo este tipo de problemas porque les hace ver que lo aprendido en materias de física y química es útil para comprender la tecnología.

La experiencia del autor con esta actividad y con otras le

permite recomendarlas para la práctica docente de la química, tanto a nivel universitario como en niveles previos, incorporando así aspectos metodológicos que plantean las tendencias de innovación educativa actuales. Se propone la puesta en práctica de este tipo de actividades, entre otros motivos, porque promueven la participación activa de los alumnos, al tener que afrontar problemas reales con múltiples soluciones.

Agradecimientos

Se agradecen el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid (proyectos de innovación educativa PT12_13-01001, IE12_13-05003 e IE12_13-05006), la labor de los alumnos en el desarrollo de la actividad y las sugerencias recibidas de los profesores Fina Guitart y Aureli Caamaño, editores de esta revista, para la mejora del manuscrito.

Notas

- [1] Real Decreto 1125/2003, por el que se establece el sistema europeo de créditos: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-17643>.
- [2] «Condensing boiler», en Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Condensing_boiler.
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11905_PAEE_2011_2020._A2011_A_a1e6383b.pdf.

- [4] Información aportada por la empresa canadiense Union Gas: <http://www.uniongas.com/about-us/about-natural-gas/Chemical-Composition-of-Natural-Gas>.
- [5] Información aportada por la empresa GasNatural Fenosa en Colombia: <http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer?gnpage=1-40-2¢ralassetname=1-40-4-2-1-0-0>.
- [6] Lide (2004-2005).
- [7] Stark y Wallace (1980).
- [8] «Standard enthalpy change of formation», en Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation_\(data_table\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation_(data_table)).
- [9] Guía básica de las calderas de condensación (2009), Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-Basica-Calderas-Condensacion-2009-fenercom.pdf>.
- [10] Resolución de 13 de marzo de 2006, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen los protocolos de detalle de las normas de gestión técnica del sistema gasista: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2006-6003.
- [11] «Cálculos de la huella de carbono», Carbon Footprint: <http://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=>.
- [12] «Calcula cuánto te puedes ahorrar con la condensación», Saunier Duval: <http://www.saunierduval.es/ahorra-con-la-condensacion>.

Se accedió a las páginas web indicadas el 20 de febrero de 2013.

Referencias

- CAAMAÑO, A. (2012). «¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos». *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70: 83-91.
- CUADROS, J. (2010). «Portant el laboratori virtual a l'aula de química: Alguns coms i alguns perquè». *Educatió Química EduQ*, 6: 4-12.
- DÍAZ FERNÁNDEZ, J. L. (2004). «Gas natural». En: MARTÍNEZ-VAL, J. M. (ed.). *La energía y sus claves*. Madrid: Fundación Iberdrola, p. 311-332.
- FELDER, R. M.; BRENT, R. (2010). «Hard assessment of soft skills». *Chemical Engineering Education*, 44: 63-64.
- GORCHS, R. (2009). «El treball cooperatiu en l'ensenyament/aprenentatge de la química». *Educatió Química EduQ*, 4: 35-40.
- GURSES, A.; ACIKYILDIZ, M.; DOGAR, C.; SOZBILIR, M. (2007). «An investigation into the effectiveness of problem-based learning in a physical chemistry laboratory course». *Research in Science & Technological Education*, 25(1): 99-113.
- HILLARD, J. H. (1998). «Gas natural». En: MARK, H. F.; OTHMER, D. F.; OVERBERGER, C. G.; SEABORG, G. T. (ed.). *Enciclopedia de tecnología química Kirk Othmer*. México DF: Limusa, p. 738.
- HOWARD, R. W.; INGRAFFEA, A.; ENGELDER, T. (2011). «Natural gas: Should fracking stop?». *Nature*, 477: 271-275.
- LIDE, D. R. (ed.) (2004-2005). *Handbook of chemistry and physics*. 85.^a ed. Boca Raton: CRC Press: Taylor and Francis.
- MARTIN-HANSEN, L. (2002). «Defining inquiry». *The Science Teacher*, 69(2): 34-37.
- OLIVERAS, B.; SANMARTÍ, N. (2009). «Trebllant les competències a la classe de Química». *Educatió Química EduQ*, 1: 17-23.
- ROCARD, M. (2007). *Science education now: For a renewed pedagogy*.

Report to the European Commission [en línea]. Bruselas: Comisión Europea. <http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf> [Consulta: 2 febrero 2013]

- SMITH, K. A.; SHEPPARD, S. D.; JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. (2005). «Pedagogies of engagement: Classroom-based practices». *Journal of Engineering Education*, 94: 87-101.
- STARK, J. G.; WALLACE, H. G. (1980). *Chemistry data book*. Londres: John Murray.
- WILLIAMS, A. J.; PENCE, H. E. (2011). «Smartphones, a powerful tool in the chemistry classroom». *Journal of Chemical Education*, 88: 683-686.
- YEOMANS, E. (2011). *Perspectives on education: Inquiry-based learning* [en línea]. Londres: Wellcome Trust. <<http://www.wellcome.ac.uk/About-us/Publications/Reports/Education/Perspectives/index.htm>> [Consulta: 2 febrero 2013]



Gabriel Pinto

Es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid y catedrático en la Universidad Politécnica de Madrid. Ha investigado sobre materiales poliméricos, así como sobre didáctica de la química y la ingeniería. Es autor de más de trescientos trabajos, entre artículos, ponencias en congresos y capítulos de libros. Ha impartido conferencias en varios países sobre nuevas metodologías para el aprendizaje de la química. Su principal ámbito de interés es la elaboración de recursos educativos sobre aspectos de la vida cotidiana. E-mail: gabriel.pinto@upm.es. Web: <http://quim.iqi.etsii.upm.es/vidacotidiana/Inicio.htm>.