

Banco de termometría controlado por *Arduino*. El problema de su calibración como experiencia para trabajar el “mito” del punto de ebullición

Arduino-controlled thermometry bench, the problem of its calibration as an experience to work the boiling point “myth”

Guillermo Emilio Wurm^{1*}, Lucas Fernando Ortigoza¹, Roberto Sebastián Da Silva¹, Sindi Pamela Tworowski¹ y Cesar Chamorro¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1552, CP 3300, Misiones, Argentina

*E-mail: guillermow77@gmail.com

Resumen

Se presenta una experiencia de laboratorio abierta que tiene como objetivo enfrentar a los estudiantes al particular y desconocido comportamiento del agua en ebullición, con el fin de ampliar los conocimientos en torno a este fenómeno tan cotidiano y habilitar un contexto para reflexiones más profundas sobre la naturaleza del conocimiento científico y el imaginario de ciencia que transmitimos en la enseñanza. El trabajo incluye la presentación del equipo y los materiales utilizados, una descripción detallada de la experiencia y el análisis de los resultados por parte de los estudiantes.

Palabras clave: Experiencia de laboratorio abierta; Punto de ebullición del agua; Sensores de temperatura.

Abstract

An open laboratory experience is presented with the objective of confronting students with the particular and unknown behavior of boiling water, with the aim of expand knowledge about this daily phenomenon and provide a context for more profound reflections about the nature of scientific knowledge and the imaginary of science that we transmit in teaching. The work includes the presentation of the equipment and materials used, a detailed description of the experience and the analysis of the results by the students.

Keywords: Open lab experience; Boiling point of water; Temperature sensors.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuentra enmarcado en el proyecto “Desarrollo de instrumental de laboratorio controlado por Sistemas Embebidos” emprendido por docentes y estudiantes del Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Misiones. El mismo tiene como objetivos el diseño y construcción de equipos de laboratorio destinados a la enseñanza de la física y el diseño y puesta en práctica de experiencias de laboratorio en las que se implementen dichos equipos.

Se presenta una experiencia de laboratorio en la que se implementa un banco de termometría controlado por una placa Arduino Uno (Arduino, s. f.), que utiliza sensores de temperatura DS18B20 (Maxim Integrated, s. f.) como instrumentos de medida.

El tema que se aborda en la experiencia tiene como punto de partida la conferencia: “El mito del punto de ebullición... o por qué el agua no hierve a la temperatura a la que hierve el agua (!?)” (Briozzo, 2019), y se toma como referencia los trabajos de Chang (2008, 2010) respecto al punto de ebullición del agua.

Es un conocimiento ampliamente difundido que, en condiciones normales de presión, el agua hierve a 100 °C, ese es su punto de ebullición y lo consideramos un “punto fijo”. Lo aprendemos en la educación media, en la educación superior e incluso podemos encontrar referencias en diferentes bibliografías académicas (Young y Freedman, 2009), (Hewitt, 2007), o de bachiller (Tricárico, 1974). Además, si analizamos un diagrama de fase estándar (Young y Freedman, 2009) podemos concluir con mucha seguridad que el punto de ebullición del agua solo está en función de la presión a la que se encuentra sometida la masa de líquido considerada.

Es muy probable que, en una experiencia de laboratorio habitual, se atribuyan las variaciones en el punto de ebullición del agua a los valores de presión atmosférica, a errores en las mediciones o a algún otro descuido en la experiencia. Sin embargo, se trata de un problema mucho más complejo que trasciende la esfera de lo teórico y lo práctico y que habilita a reflexiones en torno a la naturaleza de las ciencias y del conocimiento científico.

Lo real es que la ebullición ordinaria constituye un fenómeno bastante indefinido (Briozzo, 2019), y el hecho de considerar a la temperatura de ebullición del agua como un punto fijo es considerado un mito sin muchas finalidades prácticas que transmite ideas engañosas sobre la naturaleza del conocimiento científico (Chang, 2008). La inconstancia del punto de ebullición alguna vez fue ampliamente conocida entre los científicos y en su trabajo, el autor, recupera numerosos registros históricos sobre los esfuerzos de los científicos por resolver el problema. A la vez, expone los resultados de replicas físicas (Chang, 2010) de experimentos históricos en los que se evidencian las inconsistencias en el punto de ebullición. Es verdaderamente asombrosa la simplicidad de las experiencias, que arrojan resultados que quizá —si alguna vez hemos encontrado— hemos desestimado.

Por ello, presentamos una experiencia que tiene por objetivo principal enfrentar a los estudiantes a este comportamiento errático y desconocido del agua en ebullición, para ampliar así nuestros conocimientos sobre un fenómeno físico cotidiano. Se pretende que la experiencia permita generar interrogantes e hipótesis sobre el fenómeno en sí mismo, como también discusiones sobre la naturaleza del conocimiento científico y la enseñanza de las ciencias, tomando este caso particular como ejemplo.

II. CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN

Si bien esta experiencia de laboratorio no requiere de conocimientos avanzados ni de habilidades complejas, la misma está pensada para estudiantes avanzados de un profesorado en física con el fin de lograr un mayor compromiso en las reflexiones sobre la naturaleza del conocimiento científico que se pretenden.

Su implementación se llevó a cabo con estudiantes de la cátedra de Electrónica del cuarto año del Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Misiones. Aunque la temática que se aborda no corresponde a un contenido específico de la materia, los estudiantes se encontraban trabajando en la implementación de tecnología Arduino a la enseñanza de la física y la experiencia se presenta como un ejemplo de ello, tanto desde lo tecnológico como de lo didáctico.

III. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y MATERIALES UTILIZADOS

Se incorpora este apartado ya que la selección adecuada de algunos materiales resulta indispensable para el éxito de la experiencia.

Respecto a la tecnología Arduino, se desarrollaron dos módulos sensores de temperatura controlados por placas Arduino Uno que utilizan sensores DS18B20 como instrumento de medida. Los sensores DS18B20 se encuentran dentro de un encapsulado metálico sellado que permite sumergirlos. Según las especificaciones del fabricante estos operan en un rango de - 55 °C a 125 °C y presentan un error de ± 1 °C, para temperaturas de 100 °C.

La lectura de los valores de temperatura se realiza en una PC, por medio del monitor de puerto serie incluido en el software IDE de Arduino. Las placas se programaron con base en las librerías *DallasTemperature* y *OneWire* que se pueden descargar directamente del Gestor de Librerías del IDE de Arduino. Las conexiones del sensor a la Placa Arduino se realizan según las especificaciones del fabricante (figura 1).

Entre los materiales claves para esta experiencia están los recipientes en los que se calentará el agua, para ello se contó con un jarro recubierto de teflón de 12 cm de diámetro y 1 L de capacidad. Este material, al igual que otras superficies hidrófobas, favorecen la formación de pequeñas burbujas de vapor, permitiendo que la temperatura de ebullición se estabilice por debajo de los 100 °C (Chang, 2008). Los otros recipientes utilizados fueron un Jarro de aluminio de 1,5 L de capacidad, un Erlenmeyer de 250 ml nuevo sin usar y un vaso de precipitado de vidrio de 500 ml

usado, con marcas de desgaste y algunas manchas. Uno de los recipientes de vidrio debe ser preferentemente nuevo y sin imperfecciones o rayas en la superficie interior, esto dificulta la formación de puntos de nucleación donde se formarán las burbujas características de la ebullición (Chang, 2008). Para esta experiencia los elementos de vidrio se enjuagaron previamente con un producto de limpieza comercial especial para este material y abundante agua.

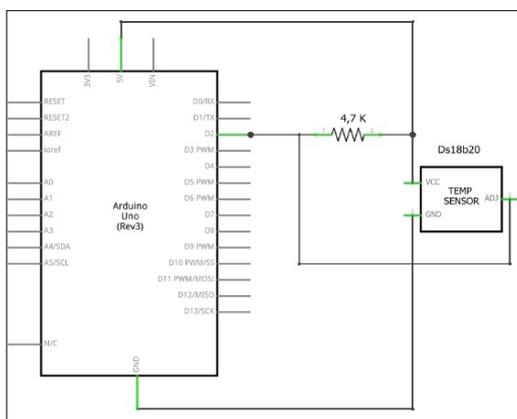


FIGURA 1. Diagrama esquemático de conexión del sensor ds18b20 a la placa Arduino Uno.

Como elementos calefactores se implementaron un mechero Bunsen y un anafe eléctrico de 1200 W, la transferencia de calor en el anafe resulta más lenta que en el mechero, característica que puede resultar importante en esta experiencia. Además, se utilizó agua destilada y tres termómetros, dos de alcohol y uno de mercurio. Es necesario comentar una particularidad de estos termómetros: a temperatura ambiente y dispuestos en el mismo lugar los tres indican valores de temperatura diferentes.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En concordancia con las recomendaciones de Carrascosa, Gil Pérez, Vilches y Valdés (2006), con el fin de involucrar a los estudiantes en el diseño de la experiencia para resolver el problema que se les plantea, se parte de una situación problemática abierta. A medida que aparecen los primeros resultados inesperados, se hace hincapié en la emisión de hipótesis y en las posibles maneras de ponerlas a prueba, a la vez que se insiste en los análisis cualitativos que ayuden a comprender el problema.

Se trabajó con dos grupos pequeños de dos y tres integrantes, que denominaremos Grupo A y Grupo B respectivamente. Los estudiantes se encuentran realizando pruebas con los bancos de termometría descritos en el apartado previo cuando se les presenta el interrogante que da inicio a esta actividad: ¿Cómo podríamos proceder para determinar si los sensores DS18B20 están midiendo de forma correcta?

La actividad se presenta casi como un problema técnico a resolver, y si bien se trata de una consigna abierta la selección de materiales que se proporciona a los estudiantes dará cierta direccionalidad a la experiencia. Es importante mencionar que los estudiantes no cuentan con todos los materiales a su disposición, sino que los mismos se entregan a medida que los van solicitando.

A continuación, se describen las propuestas de los estudiantes, se mencionan algunas situaciones y se presentan los resultados de cada grupo.

El grupo B propone comparar las mediciones del sensor con las de un termómetro convencional que utilizarán como instrumento patrón, sumergiendo ambos en recipientes con agua a diferentes temperaturas. Para ello se proporcionan los tres termómetros disponibles, con el fin de que elijan uno. No tardan en detectar que los tres termómetros dispuestos en una misma masa de agua arrojan valores diferentes. Esta situación los lleva a reformular su propuesta, dado que no pueden confiar en ninguno de los termómetros disponibles. El nuevo planteo consiste en poner a prueba el sensor y uno de los termómetros de alcohol en dos puntos fijos, el punto de fusión del agua y el punto de ebullición del agua.

El grupo A ya tenía conocimiento de las características mencionadas en los termómetros del laboratorio, por lo que deciden comenzar por ensayar los sensores en las temperaturas de fusión y ebullición del agua. Justificaron esta decisión de la siguiente manera: *“Esta decisión es debido a que estos puntos ya fueron tomados como referencia para calibrar otros termómetros e incluso son la base de una escala de temperatura, hoy conocida como escala Celsius”*.

Una vez que ambos grupos definieron cómo proceder, se proporciona al grupo A el Erlenmeyer, el vaso de precipitado y el mechero Bunsen como elemento calefactor. Mientras tanto el grupo B trabajará con el jarro de teflón, el jarro de aluminio y el anafe eléctrico como elemento calefactor.

Los integrantes de los dos grupos sugieren que sería bueno contar con agua destilada, así es que se proporciona cantidad suficiente. Ambos deciden que la temperatura de ebullición del experimento se tomará como aquella que se mantenga constante una vez visible el proceso de ebullición.

Al realizar la experiencia con el Erlenmeyer, el grupo A obtiene una temperatura de ebullición estable de 100 °C, dejan enfriar el agua por un momento y repiten la medición obteniendo un valor de 101 °C. Por su parte el grupo B, en su trabajo con el jarro cubierto de teflón, obtiene una temperatura de ebullición de 96 °C con el sensor y 99 °C con el termómetro de alcohol.

Ante estos resultados emergen las primeras hipótesis por parte de los integrantes de grupo A: es probable que el punto de ebullición no sea 100 °C exacto ya que este valor depende de la presión atmosférica. Por ello, se proporciona a los estudiantes un artículo en el que se puede obtener una expresión para estimar la temperatura de ebullición en función de la presión atmosférica (Sánchez, 2019). El servicio meteorológico local informó una presión atmosférica de 1014,9 hPa el día de la experiencia, con esta información obtuvieron una temperatura de ebullición de 100,04 °C, que decidieron tomar como referencia.

El docente sugiere que realicen nuevas mediciones, pero esta vez utilizando el otro recipiente disponible con el fin de obtener más datos. El grupo A procede con el vaso de precipitado obteniendo un valor de 99 °C.

Considerando solo sus resultados, el grupo A elabora un breve informe y anticipa una conclusión (figura 2)

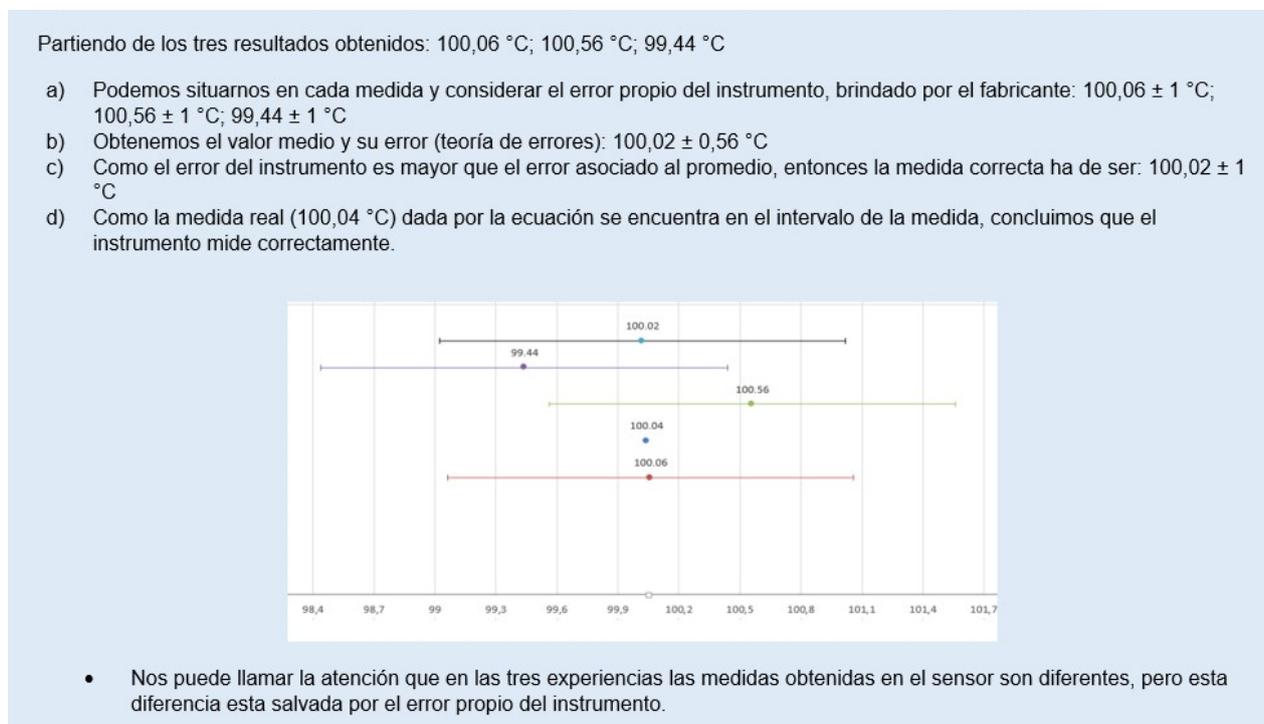


FIGURA 2. Captura de un fragmento del informe preliminar del grupo A.

Se aclara aquí que, teniendo en cuenta la incertidumbre propia del instrumento, corresponde adaptar el número de cifras significativas de las mediciones para que sean compatibles con el valor de dicha incertidumbre. Los valores informados en el punto a) debieron ser 100 ± 1 °C, 101 ± 1 °C y 99 ± 1 °C respectivamente, en el punto b) el valor medio y su error (Gil, 2014) resulta $100 \pm 0,6$ °C, y en el punto c) se debió informar 100 ± 1 °C.

Si bien se obtienen medidas de temperaturas de ebullición con 1 °C de diferencia, estos valores están dentro del rango de error proporcionado por el fabricante del sensor y los estudiantes deciden considerar como valor representativo el promedio de las tres mediciones. En esta decisión está implícita la idea de que el punto de ebullición es independiente de las pequeñas diferencias de condiciones en que se realizaron las tres experiencias.

En el grupo B la situación es un tanto diferente debido a que se midió, en el recipiente de aluminio, una temperatura estable de ebullición de 99 °C con el sensor y 102 °C con el termómetro de alcohol. Se tiene como resultado una diferencia de 3 °C entre las temperaturas de ebullición medidas con el sensor y de 3 °C para las medidas con el termómetro de alcohol, en comparación con los valores obtenidos en el jarro de teflón.

Ambos grupos comparten los resultados de sus ensayos y comienza una dinámica diferente en la experiencia ya que se disuelven los grupos y las hipótesis y pruebas siguientes se realizan en conjunto.

Una de las primeras ideas es medir la temperatura de ebullición en el Erlenmeyer del grupo A con el termómetro de alcohol del grupo B, el valor obtenido resulta aún más sorprendente, la temperatura de ebullición se estabiliza en 107 °C. Ante este resultado se percibe cierto desconcierto y desconfianza en los estudiantes sobre los instrumentos y el desarrollo de las experiencias.

Si bien los resultados son muy diferentes a los esperados, los alumnos se esfuerzan por encontrar una respuesta y surgen las siguientes posibles explicaciones:

- Respecto a las diferencias de temperatura obtenidas con el termómetro de alcohol en diferentes recipientes: Este termómetro no estaría midiendo bien, además no conocemos su error, si este fuera de ± 7 °C los resultados serían explicados por este margen de error.
- Respecto al valor de 96 °C medido en el jarro de teflón, con el sensor, surgieron dos hipótesis:
 1. es posible que el sensor no esté midiendo bien.
 2. es posible que la temperatura ebullición sea la temperatura de la capa de agua en contacto con la base del recipiente y al medir en el centro del recipiente obtenemos un valor menor.
- Respecto a la temperatura de 107 °C medida en el Erlenmeyer con el termómetro de alcohol: debido a la forma del recipiente, el vapor de agua permanece más tiempo en contacto con el termómetro y como la temperatura del vapor de agua es mayor a la del agua líquida hirviendo el termómetro mide una temperatura mayor.

Todas estas hipótesis apuntan a errores del instrumento de medida o del diseño de la experiencia, como un intento de explicar por qué el agua no está hirviendo a 100 °C o 100,04 °C si consideramos el ajuste por presión atmosférica.

Para poner a prueba la primera de estas hipótesis, los estudiantes deciden descartar el termómetro de alcohol y repetir las experiencias en el jarro con teflón y el Erlenmeyer utilizando el sensor del grupo A, es importante mencionar que estas nuevas experiencias se realizaron empleando el anafe eléctrico como elemento calefactor para repetir las condiciones iniciales del grupo B. Los valores obtenidos fueron: 99 °C en el jarro de teflón y 103 °C en el Erlenmeyer. Otro detalle importante en esta última experiencia consiste en que los estudiantes dejaron el agua hirviendo en el jarro de teflón un tiempo prolongado mientras conversaban sobre los resultados de las experiencias y sus posibles causas, luego utilizarían esta misma agua para realizar la experiencia en el Erlenmeyer sin dejar enfriar demasiado.

Debido a estos resultados se incrementa el desconcierto, a tal punto que se pueden escuchar frases como: “¡Pero si el punto de ebullición no cambia, es nuestro punto de referencia!” o “Esto no tiene sentido, ¡qué le pasa a la física!”

Si bien las diferencias en las temperaturas de ebullición no parecen tener explicación, aún persiste la hipótesis de que la temperatura del vapor de agua en el cuello del Erlenmeyer puede estar afectando las medidas. Se decide indagar esta hipótesis, ya que parece existir allí un conocimiento construido de forma equivocada. Luego de una conversación con los estudiantes se logra identificar que la idea de que el vapor de agua se encuentra a una temperatura mayor a 100 °C surge de una interpretación realizada sobre el gráfico de cambios de fase del agua (figura 3). Los estudiantes manifestaron entender allí que el vapor de agua sólo puede existir a temperaturas mayores a 100 °C. Interpretación que no es correcta, pero sí posible si se observa la información del gráfico sin un análisis detallado de todo el fenómeno que el mismo describe.

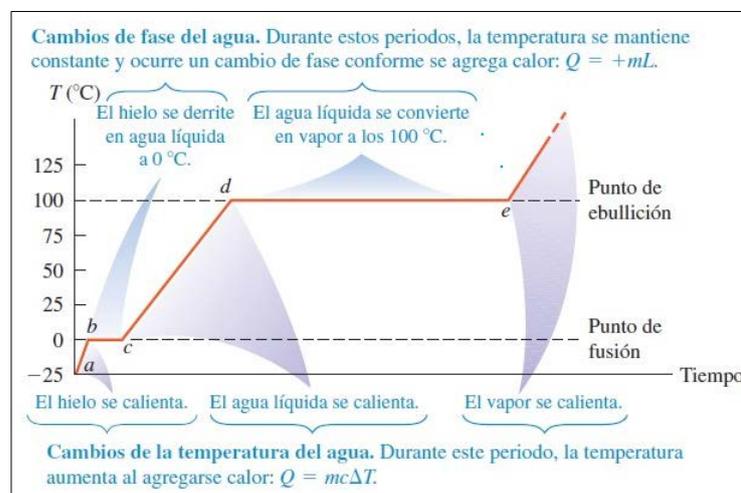


FIGURA 3. Gráfico de cambios de fase del agua. Fuente: Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009).

El docente sugiere entonces que diseñen alguna experiencia para poner a prueba esta hipótesis. Así es que proceden a medir la temperatura del vapor suspendiendo el sensor en la región donde se concentra el mismo (figura 4), obteniéndose una temperatura de 97 °C. Nuevamente, se tiene un resultado no esperado y surge como explicación el posible ingreso de masas de aire frío que, en contacto con el sensor, afectan su medida. Se rediseña la experiencia incorporando un tapón de goma con dos orificios, uno para el sensor y otro para que no se modifique la presión donde se concentra el vapor (figura 4), el resultado para esta situación es una temperatura estable del vapor de 100 °C.

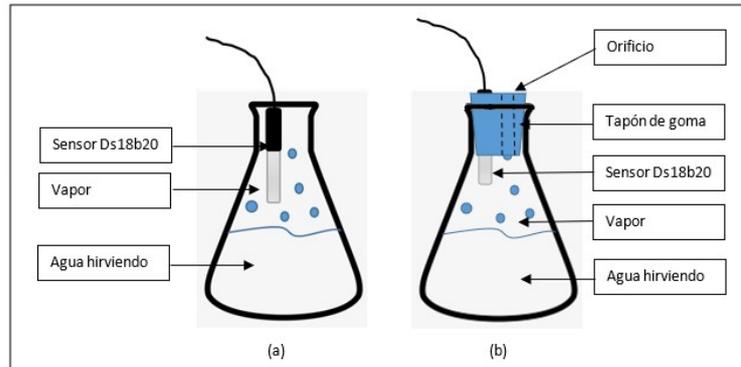


FIGURA 4. Diagrama del diseño de la experiencia para medir la temperatura del vapor de agua. a) Primer intento: sensor suspendido en el vapor. b) Segundo intento: Se incorpora un tapón con dos orificios, uno para el sensor y otro para que salga el vapor.

Cuando se agotan las alternativas, se revela a los estudiantes que el objetivo de la experiencia consistía justamente en enfrentarlos a estas situaciones irregulares, y que las mismas ya habían sido detectadas por científicos hace casi 200 años mientras intentaban resolver un problema similar: cómo obtener un patrón de calibración estable para los termómetros. La ebullición ordinaria resulta un fenómeno bastante indefinido, afectado por otras variables además de la presión. Se consulta a los estudiantes cuáles podrían ser estas variables teniendo en cuenta nuestra experiencia, concluyen rápidamente que el material del recipiente podría estar influyendo y que otro de los factores podría ser el método empleado para calentar el agua.

Luego de conversar un rato sobre los resultados, se solicita a los estudiantes que recuperen aspectos cualitativos de las experiencias que quizás pasaron por alto por no parecer pertinentes, si fuera necesario debían repetir algunas de las experiencias.

Como los valores medidos con el termómetro de alcohol resultaron muy distantes de lo esperado se decidió repetir algunas experiencias utilizando un nuevo termómetro, en este caso el termómetro de mercurio. Con el anafe eléctrico como elemento calefactor y agua destilada previamente hervida, se obtuvieron las siguientes medidas: 99 °C en el jarro de teflón y 103 °C en el Erlenmeyer de vidrio.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados cuantitativos y las observaciones cualitativas generales de esta actividad (tabla 1).

Al finalizar la clase, se comparten con los estudiantes un enlace al video de Briozzo (2019) y los artículos de Hasok Chang (2008, 2010), para ampliar lo trabajado en la experiencia con los fundamentos históricos que se exponen en estos artículos. Las discusiones y el análisis de resultados continúan en una clase posterior.

V. RESULTADOS

TABLA I. Síntesis de todos los resultados cuantitativos y observaciones cualitativas que se obtuvieron en la experiencia.

Experiencia	Instrumento utilizado	Elemento calefactor	Temperatura estable de ebullición	Observaciones cualitativas
Agua destilada en jarro de teflón	Termómetro de alcohol	Anafe eléctrico	99 °C	Las primeras burbujas aparecen a los 90 °C, la temperatura aumenta hasta estabilizarse a los 99 °C. Se observa un gran número de burbujas pequeñas que surgen de diferentes puntos de la base del recipiente.
	Sensor Grupo B	Anafe eléctrico	96 °C	
Agua destilada en jarro de aluminio	Termómetro de alcohol	Anafe eléctrico	102 °C	Las primeras burbujas aparecen a los 95 °C, la temperatura aumenta hasta estabilizarse a los 102 °C Se observa un gran número de burbujas medianas que surgen de pocos puntos de la base del recipiente
	Sensor Grupo B	Anafe eléctrico	99 °C	

Experiencia	Instrumento utilizado	Elemento calefactor	Temperatura estable de ebullición	Observaciones cualitativas
Agua destilada en Erlenmeyer de vidrio nuevo	Termómetro de alcohol	Mechero Bunsen	107 °C	Las primeras burbujas aparecen a los 100 °C, la temperatura aumenta hasta estabilizarse a los 107 °C.
	Sensor Grupo A	Mechero Bunsen	100 °C	Al dejar enfriar un momento y volver a repetir la experiencia se obtiene una temperatura de 101 °C
Agua destilada en vado de precipitado de vidrio usado	Sensor Grupo A	Mechero Bunsen	99 °C	En el vidrio se observan burbujas de mayor tamaño que surgen en uno o dos puntos fijos en la base del recipiente
Agua destilada en jarro de teflón	Sensor Grupo A	Anafe eléctrico	99 °C	Se observó que una misma cantidad de agua demora mucho más en alcanzar la ebullición al utilizar el anafe eléctrico. Se deja hirviendo por unos 15 minutos
Agua destilada previamente hervida en Erlenmeyer de vidrio nuevo	Sensor Grupo A	Anafe eléctrico	103 °C	Se observan burbujas de gran tamaño que emergen de un único punto en la base del recipiente de forma esporádica. Al introducir el termómetro se generan, en gran cantidad, burbujas muy pequeñas que parten de la superficie metálica del mismo
Agua destilada en jarro de teflón	Termómetro de mercurio	Anafe eléctrico	99 °C	Se observan un gran número de burbujas pequeñas que comienzan a emerger mucho antes de que la temperatura se estabilice.
Agua destilada previamente hervida en Erlenmeyer de vidrio nuevo	Termómetro de mercurio	Anafe eléctrico	103 °C	Emergen burbujas de gran tamaño de un único punto en la base del recipiente de forma esporádica.
Temperatura del vapor de agua figura 4 (a). Agua previamente hervida	Sensor Grupo A	Anafe eléctrico	97 °C	
Temperatura del vapor de agua figura 4 (b). Agua previamente hervida	Sensor Grupo A	Anafe eléctrico	100 °C	

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y REFLEXIONES

Los resultados obtenidos en nuestra experiencia son consistentes con los descriptos en Chang (2008, 2010) tanto en lo cuantitativo como en las observaciones cualitativas del fenómeno de ebullición del agua en diferentes condiciones.

Se obtuvo una diferencia de por lo menos 4 °C al hervir agua en diferentes condiciones. Es posible encontrar una relación entre los diferentes materiales de los recipientes y las temperaturas obtenidas a la vez que se pueden describir variaciones cualitativas en la manera en que se da el fenómeno de ebullición en cada caso.

Los estudiantes lograron identificar que en el teflón la ebullición comienza a temperaturas más bajas que en los otros materiales, consideramos aquí como inicio de la ebullición al momento en que las burbujas comienzan a subir de forma regular y continua. En todas las experiencias con este material la temperatura se estabilizó por debajo de 100 °C presentando abundantes burbujas de tamaño pequeño que se originan en diferentes puntos de la base del recipiente.

En cuanto a las experiencias realizadas en el Erlenmeyer de vidrio, se registró que la temperatura estable de ebullición era diferente si se implementaba agua destilada nueva o agua destilada previamente hervida, obteniéndose una temperatura mayor en el segundo caso. También es posible mencionar variaciones con relación a la forma de calentar el recipiente, utilizando el anafe eléctrico la transferencia de energía resultó mucho más lenta y se midieron temperaturas de ebullición más altas. La ebullición en el vidrio se da de forma muy diferente a los demás materiales, ya que las burbujas son grandes y surgen de unos pocos puntos en el fondo del recipiente. Cuando se alcanzó la temperatura de 103 °C las burbujas se originaban en un único punto y de manera esporádica. Es importante mencionar también que, al introducir el sensor, se originaban pequeñas burbujas de manera constante y continua en la superficie metálica del mismo. Conversando sobre estos resultados los estudiantes elaboraron las conclusiones que se muestran a continuación.

- El material del recipiente influye en la temperatura de ebullición, y esto podría estar relacionado con la facilidad o dificultad con que se originan las burbujas en cada material.
- La rapidez con que se transfiere calor influye en la temperatura de ebullición.
- Utilizar agua previamente hervida permite obtener temperaturas de ebullición mayores.

La experiencia también habilitó un debate interesante más allá del fenómeno en sí, como lo ilustra el comentario que uno de los estudiantes escribe en su informe:

después de la experiencia todavía tenía mis dudas pero, al conocer que otros científicos se habían topado con los mismos problemas, dejé de creer en la teoría y en ese momento ya no me interesó sólo el punto de ebullición, sino todos aquellos conceptos relacionados con él y el impacto que generaría en ellos el hecho de que el punto de ebullición no fuera 100 °C.

Así es que surgieron interrogantes de orden técnico como: Y entonces, ¿Cómo se calibran los termómetros? Respecto a esto, los estudiantes manifestaron haber estado seguros de que el punto de ebullición del agua constituía un patrón de calibración. Logramos identificar que esta idea se construye sobre el conocimiento ampliamente difundido de la definición de la escala Celsius, que posee dos puntos fijos: los puntos de congelación y ebullición normales del agua (Young y Freedman, 2009). Estos puntos pasaron entonces, de forma progresiva, a ser considerados patrones de calibración por los estudiantes.

Resulta interesante mencionar aquí que en Argentina el organismo oficial encargado de reproducir y mantener los patrones nacionales de medida no posee ningún patrón de temperatura basado en un punto de ebullición (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], s.f.).

En otro orden surgieron reflexiones sobre el impacto que tienen estos resultados en nuestra visión de ciencia y la naturaleza del conocimiento científico como lo manifiesta uno de los estudiantes en su informe:

Luego de realizar la experiencia, pude, por primera vez, entender la visión de una ciencia en construcción, sostenida por conocimientos, en algunos casos demostrados y en otros casos aceptados, como es el caso del punto de ebullición, un concepto que parecía definitivo... Estos vaivenes de la ciencia, discusiones, negaciones y resistencias no son parte de la imagen de ciencia acabada y bien definida que brindan las instituciones educativas como principales promotoras del conocimiento.

Es posible reconocer en la negación por omisión y simplificación de los fenómenos observados, una idea de conocimiento científico como conocimiento absoluto y definitivo, donde los éxitos de la ciencia se presentan de manera que nos hacen creer que tenemos acceso a la verdad básica de la naturaleza.

Al respecto Chang (2010) expone:

En aras de enfocarse en fenómenos que se explican más fácilmente, la enseñanza de las ciencias de hoy tiende a ocultar a los estudiantes (y por lo tanto a la sociedad en general) algunos conocimientos importantes, a menudo sobre su entorno físico inmediato. Esto también refuerza el concepto erróneo generalizado de que la ciencia es irrelevante para la vida cotidiana.

Creemos que reflexionar sobre estos temas puede facilitar la generación de actividades que ayuden a reducir la brecha entre el conocimiento construido por científicos y el conocimiento tal como se presenta en las instituciones educativas.

VII. CONCLUSIÓN

La experiencia se presenta a los estudiantes como una clásica actividad de comprobación teórica, pero a medida que avanza se torna confusa y los estudiantes deben poner en juego sus conocimientos para tratar de ajustar los resultados a la teoría, objetivo que no se consigue a tal punto que la experiencia termina por convertirse en una nueva fuente de conocimientos sobre un fenómeno del cual creíamos que ya nada había por aprender.

Se consiguió enfrentar a los estudiantes al comportamiento indefinido del agua en ebullición a la vez que se logró iniciar las discusiones sobre la naturaleza del conocimiento científico que se pretendían.

Es importante mencionar las potencialidades de una actividad del tipo abierta que habilita a los estudiantes a poner a prueba sus conocimientos y tomar decisiones sobre cómo proceder y qué resultados considerar válidos y cuáles no, actividades que los acerca a una naturaleza del quehacer científico distinta a la instituida en los ámbitos escolares.

Se recomienda solicitar a los estudiantes que filmen el desarrollo de sus experiencias con el fin de recuperar con mayor facilidad aquellos aspectos cualitativos que son pasados por alto en los primeros ensayos.

La experiencia también permite el debate sobre otros interrogantes que no surgieron en esta puesta en práctica como: de qué forma se determinan los puntos de ebullición de diferentes sustancias que, en bibliografías de uso habitual, se presentan como valores bien definidos. Al respecto, Briozzo (2019) expone un método para este fin que dista mucho de la práctica de acercar una sustancia a una fuente de calor y esperar la ebullición para medir su temperatura. También podríamos preguntarnos cómo explicar científicamente las inconsistencias observadas en el agua en ebullición.

REFERENCIAS

Arduino, s.f. *Arduino Uno Rev3*. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/?selectedStore=us>

Briozzo C. B. (02 de octubre de 2019) *El mito del punto de ebullición... o por qué el agua no hierve a la temperatura a la que hierve el agua (!)* [Conferencia]. *Reunión Nacional de Educación en la Física REF XXI*. Rosario, Argentina. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=o_2TU8BZRNE

Carrascosa Alís, J., Gil Pérez, D., Vilches Peña, A., & Valdés Castro, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.

Chang, H. (2008). The myth of the boiling point. *Science progress*, 91(3), 219-240

Chang, H. (2010). How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: The cases of boiling water and electrochemistry. *Science & Education*, 20(3), 317-341

Gil, S. (2015). *Experimentos de Física usando las TIC y elementos de bajo costo*. (1ª ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino

Hewitt, P. G. (2007). *Física Conceptual* (10ª ed.). México: Pearson Educación

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], s.f. <https://www.inti.gov.ar/areas/metrologia-y-calidad/patrones-nacionales-temperatura>

Maxim Integrated, s. f. <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/DS18B20.html>

Sánchez Morales, C. A. (2019). *El punto de ebullición del agua en función de la altura sobre el nivel del mar*. Researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Ciro_Alberto_Sanchez

Tricárico, H. R. (1974). *Física: Mecánica – Calor – Sonido*. Argentina: Editorial Kapelusz

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria volumen 1* (12ª ed.). México: Pearson Educación