



Formación inicial del profesorado: réplica de los experimentos de Eunice Foote (1856)

Preservice Teacher Training: replication of Eunice Foote's experiments (1856)

Tamara Amorín de Abreu¹, J. Francisco Serrallé Marzoa¹, Mari M. Álvarez Lires¹ y Azucena Arias Correa¹

Resumen

Se relata una experiencia sobre Cambio Climático (CC), realizada en el Máster de Profesorado de Ciencias en Formación Inicial de una universidad española. Se reproducen los experimentos de Eunice Newton Foote (1856), precursora de la ciencia climática, y se muestra su importancia crucial para la Historia de la Ciencia. La secuencia didáctica sigue un Ciclo de Aprendizaje de Karplus que busca la metacognición y la autorregulación de los aprendizajes, se contextualiza en la crisis ambiental actual, de origen antropogénico, recogida en informes internacionales. La experiencia de Foote se actualiza al siglo XXI, respecto al marco teórico y a la utilización de tecnologías electrónicas e informáticas. Los resultados muestran satisfacción del alumnado, en relación con el trabajo realizado, los conocimientos adquiridos y también reflexión metacognitiva y mejoras en sus aprendizajes, pero evidencian carencias en su formación inicial, que dificultan su interpretación de los hechos experimentales y el diseño de actividades de aula que impliquen aprendizajes significativos.

Palabras clave

Eunice Foote, Cambio Climático, Historia de la Ciencia, Evaluación metacognitiva, Formación Inicial del Profesorado.

Abstract

An experience on Climate Change (CC) is reported, carried out in the Master's degree for Science Preservice Teachers Training at a Spanish university. The experiments of Eunice Newton Foote (1856), precursor of climate science, are reproduced and their crucial importance for the History of Science is shown. The didactic sequence is carried out according to a Karplus Learning Cycle, which seeks metacognition and self-regulation of learning, and is contextualised in the current environmental crisis current crisis situation, of anthropogenic origin, as described in international reports. Foote's experience is updated to the 21st century, with regard to the theoretical framework and the use of electronic and computer technologies. The results show student satisfaction in relation to the work carried out, the knowledge acquired and also metacognitive reflection and improvements in their learning, but they reveal shortcomings in their initial training, which hinder their interpretation of the experimental facts and the design of classroom activities that involve meaningful learning.

Keywords

Eunice Foote, Climate Change, History of Science, Metacognitive assessment, Preservice Teacher Training.

¹ Universidad de Vigo, España. <https://orcid.org/0000-0001-9049-7417>

Introducción

Los Acuerdos de París (ONU, 2015a) concluyeron que era necesario "reforzar la respuesta mundial a la amenaza del Cambio Climático" (en adelante, CC). La Agenda 2030 (ONU, 2015b) definió 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos el ODS 13 *Acción por el clima*. Dichos acuerdos fueron una esperanza de futuro, pero el informe *Estado del clima mundial, 2022*, de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2023), muestra el continuo avance del CC en la atmósfera, zonas continentales y océanos, debido a emisiones antropogénicas récord de Gases de Efecto Invernadero (GEE, en adelante), una situación de emergencia planetaria. La concentración de CO₂ atmosférico alcanzó en 2022 las 418,9 partes por millón (ppm) y, si continúa esta tendencia, los efectos serán devastadores para la vida en este planeta:

Las sequías, las inundaciones y las olas de calor afectaron a comunidades de todos los continentes y ocasionaron pérdidas por valor de miles de millones de dólares. La extensión del hielo marino de la Antártida retrocedió a mínimos históricos y el deshielo de algunos glaciares europeos alcanzó niveles inéditos. La sequía persistente en África oriental, las lluvias que azotaron Pakistán y las olas de calor récord en China y Europa afectaron a decenas de millones de personas, provocaron inseguridad alimentaria, impulsaron migraciones masivas y empeoraron las condiciones de gran parte de los 95 millones de personas ya desplazadas (WMO, 2023).

Los efectos antropogénicos sobre el Sistema Tierra son innegables (Steffen y Stafford, 2013), de modo que es necesario realizar acciones urgentes, desde la investigación, la educación y la Educación Química (EQ, en adelante), en particular, y los ámbitos político y económico, hacia un cambio del modelo de desarrollo actual basado en un crecimiento económico y un consumo ilimitados, generador de desigualdades, insustentable y éticamente injusto (Girault y Sauvé, 2008; Folch, 2011; de Poorter, 2014), para caminar hacia la sostenibilidad.

En este contexto, mostrar la importancia crucial de los descubrimientos de Eunice Foote (1856) sobre el efecto invernadero (EI, en adelante) y el CC servirá, además, para incluir en la EQ aspectos de historia de la ciencia y de la técnica (HCT, en adelante) (Quintanilla, 2006), de educación para la sustentabilidad (Álvarez, 2023) y de presencia de mujeres que fueron silenciadas y olvidadas; Foote lo fue por más de 150 años (Perlin, 2018; Melero y Solís, 2012).

Eunice Newton Foote (1819-1888), estadounidense con una formación científica de élite en esa época, pionera de la ciencia climática, primera investigadora físico-química destacada de su país, inventora y activista de los derechos de las mujeres, fue la primera persona que propuso, como conclusión de sus estudios y experimentos (Foote, 1856), realizados en un laboratorio diseñado y montado por ella misma en su casa, que un incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera iba acompañado por un aumento de la absorción de radiación solar, que podía provocar un aumento significativo de la temperatura de la Tierra (EI y calentamiento global). Pero, la fama la llevó el irlandés John Tyndall en 1861 (Perlin, 2019) y no se supo de Foote hasta la publicación de Sorenson (2011).

Eunice expuso al sol y a la oscuridad tubos de vidrio de 4 pulgadas de diámetro por 30 de longitud, que contenían diferentes gases (aire seco, húmedo y CO₂), en los que se

insertaron termómetros. Al medir el cambio de sus temperaturas, observó que el CO_2 y el vapor de agua absorben calor (energía) suficiente para que pudiera afectar al clima. Sabía del estudio de las causas del clima cálido y húmedo del Devónico tardío y el inicio del Carbonífero, hace 360 millones de años. Postuló que en ese periodo la atmósfera contenía gran concentración de CO_2 :

El receptor que contiene este gas (CO_2) se calentó mucho más y sensiblemente más que el otro, y, al ser retirado [del Sol], tardó mucho más tiempo en enfriar.

Una atmósfera del dicho gas le daría a nuestra Tierra una alta temperatura y si, como se supone, en un período de su historia, el aire se mezcló con este en mayor proporción que en la actualidad, debe resultar necesariamente un aumento de la temperatura (Eunice Foote, 1856).

Para Jon Perlin (2019), “desde entonces, esta relación entre el CO_2 y el clima se ha convertido en uno de los principios clave de la ciencia climática. Su artículo sobre el calentamiento global fue el primero de autoría femenina presentado ante la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias (AAAC) y sus escritos científicos fueron los únicos artículos de una mujer en el ámbito de la física, publicados en respetadas revistas científicas, hasta finales del siglo XIX. La única explicación de su invisibilidad y de que nadie reconociera que Foote fue la primera en hacer este descubrimiento fue su condición de mujer”.

Por lo que respecta al enfoque didáctico de esta experiencia, asumimos que la EQ debe afrontar grandes retos, entre ellos el de enfrentarse a una situación de auténtica emergencia planetaria, por lo que la alfabetización científica en temas medioambientales debe tener un papel fundamental. Para ello, la EQ es una importante herramienta educativa, que permite formar una ciudadanía respetuosa con el medio, preparada para que piense, comprenda y actúe de manera crítica y responsable (Quintanilla, 2006).

Por su parte, Torres y Solbes (2016) subrayan el impacto de las intervenciones sobre cuestiones sociocientíficas actuales —con enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad, Ambiente (Cebrián y Junyent, 2014) y de Sostenibilidad y Género (González y Fernández-Jimeno, 2016)— en el desarrollo del pensamiento crítico del profesorado en formación inicial (PFI) (Jiménez-Liso et al., 2010). Además, el enfoque del aprendizaje en contexto permite transferir el conocimiento construido desde la ciencia escolar a la acción —a través de la indagación, la argumentación y la modelización— de modo que motive hacia el aprendizaje, propicie la formulación de preguntas pertinentes, la búsqueda de soluciones, la satisfacción de hallarlas, y la realización de acciones a favor de la comunidad escolar, del entorno próximo o global, a partir de contextos socioculturales determinados (Sanmartí y Márquez, 2017). Se ha de partir de preguntas o problemas, capaces de darle sentido a la tarea, y planificar actividades que permitan formular hipótesis, diseñar experimentos, ponerlos a prueba, compartir los resultados, elaborar explicaciones y conclusiones (Izquierdo et al., 2022). Por ello, se necesita profesorado capaz de diseñar secuencias didácticas que contribuyan a desarrollar competencias científicas.

En este caso, la utilización del Informe WMO (2023) fomenta la relación con la realidad, la motivación y la actitud positiva del estudiantado hacia la ciencia (Moraga et al., 2019), así como su actuación a favor del medio, a través de debates en los que pueda exponer, discutir sus opiniones y aprender a argumentar las razones de dichas opiniones, sus decisiones y sus actuaciones (Cipamocha, 2022).

Metodología

La experiencia se llevó a cabo en la materia de Didáctica de las Ciencias Experimentales del Máster de Profesorado de Ciencias de Secundaria (curso académico 2022-2023) durante cuatro semanas, en cuatro sesiones presenciales, de 2 horas cada una, y dos telemáticas, de idéntica duración a través del aula virtual de la materia en el Campus Remoto de una universidad española. El grupo estaba formado por 18 alumnas y 5 alumnos con graduación en Biología, en Geología, en Física y en Química.

Como propósito general, se pretende hacer evolucionar los modelos de partida del estudiantado a través de la reflexión sobre aspectos de la construcción histórica científico-tecnológica, la interdisciplinariedad, las relaciones Ciencia/Tecnología/Género/Sociedad (CTGS), realización de análisis y síntesis, formulación de preguntas, fomento del espíritu crítico y aprender haciendo, para construir modelos de interpretación cada vez más complejos (Álvarez et al., 2013)

Los objetivos son los siguientes:

- Comprender el fenómeno del CC, sus causas, sus efectos y los aspectos interdisciplinares que implica.
- Identificar aspectos didácticos del CC en su integración en las clases de ciencias experimentales, para explicitar el conocimiento pedagógico del contenido científico (PCK) (Shulman, 1986) en la formación inicial de docentes.
- Analizar la investigación de Eunice Newton Foote (1856), como caso de estudio, identificar la evolución del conocimiento científico del siglo XIX al XXI y la presencia de mujeres notables en los avances tecnocientíficos.
- Interpretar el trabajo experimental, la evidencia empírica y la formulación de explicaciones para promover el desarrollo de competencias científicas, pensamiento crítico, la resolución de problemas y avanzar en el modelo explicativo.
- Formular secuencias didácticas de trabajos prácticos experimentales para promover procesos de aprendizajes en aulas de educación secundaria.
- Reflexionar metacognitivamente sobre los propios conocimientos y la futura práctica docente.

Secuencia didáctica

Para desarrollar la secuencia didáctica, se ha utilizado el Ciclo de Aprendizaje de Karplus adaptado, según la Teoría de la Actividad (Jorba y Sanmartí, 1996; Daniels et al., 2010), que a través de diferente tipología de actividades permite formular preguntas, construir aprendizajes, regularlos y relacionarlos con la evaluación (Escobedo y Cordero, 2023).

1. Actividades de exploración - Evaluación inicial

Para conocer las ideas y conocimientos iniciales del grupo de estudiantes, se suministró un instrumento de evaluación metacognitiva, el formulario Knowledge and Prior Study Inventory (KPSI) (Zazo et al., 2019), con un conjunto de afirmaciones de autoevaluación personal, agrupadas en seis ámbitos, en correlación con los objetivos formulados:

Ámbito temático	Afirmaciones
Conocimientos sobre la atmósfera y comprensión de la climatología y la meteorología.	<p><i>Conozco la composición química de la atmósfera.</i></p> <p><i>Comprendo la física de los fenómenos meteorológicos,</i></p> <p><i>Conozco e interpreto las diferencias entre climatología y meteorología.</i></p>
Conocimientos y comprensión acerca del CC, sus causas y sus efectos y de personas que lo descubrieron y lo investigaron.	<p><i>Comprendo las causas del “efecto invernadero”.</i></p> <p><i>Conozco el significado del término y los procesos del CC.</i></p> <p><i>Conozco informes internacionales sobre el cambio climático.</i></p> <p><i>Conozco algunas personas científicas que descubrieron el CC y el EI.</i></p>
Comprensión de los principios de la interacción de la radiación electromagnética con la materia y la teoría cinética de los gases	<p><i>Comprendo los principios de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia</i></p> <p><i>Comprendo la teoría cinética de los gases</i></p>
Comprensión de la interdisciplinariedad de los procesos implicados en el CC	<p><i>Comprendo que el CC implica procesos físicos y químicos en interacción</i></p>
Capacidad para diseñar alguna actividad experimental, destinada a la educación secundaria, que proporcione alguna evidencia empírica del CC.	<p><i>Puedo formular algún trabajo práctico para el alumnado sobre el CC.</i></p> <p><i>Puedo diseñar algún experimento para evidenciar empíricamente el CC.</i></p>
Competencia para planificar actividades que propicien procesos de aprendizaje sobre el CC.	<p><i>Puedo preparar material didáctico para explicar el CC y sus efectos.</i></p> <p><i>Puedo planificar actividades centradas en los requisitos previos del alumnado.</i></p> <p><i>Puedo diseñar la estructura de un proceso de aprendizaje, en educación secundaria, sobre el CC.</i></p>

TABLA 1. Formulario KPSI.

Cada estudiante respondió individual y anónimamente a su cuestionario, vía telemática, asignando valores, según su grado de conocimiento autopercebido del ítem (1-no sé nada, 2-sé algo, 3-sé bastante y 4-sé mucho, podría explicarlo a otra persona).

Con la recapitulación global de las respuestas, se establece un debate, a través del aula virtual del Campus Remoto, moderado por el profesor o la profesora. Al verbalizar las explicaciones de sus respuestas, cada estudiante reflexiona en grupo sobre ellas, y contrasta su nivel de conocimiento declarativo con la colectividad. Después, según el significado científico del término o del proceso, ha de revisar el valor que asignó inicialmente al ítem considerado. Los debates se graban en el aula virtual, a fin de que el profesorado pueda evaluar el estado de los conocimientos e ideas del grupo y constituyan un referente para la autorregulación del alumnado.

En el KPSI inicial, el alumnado afirma conocer el significado de CC, EI, los principios de la interacción de la radiación electromagnética con la materia y la teoría cinética de los gases. En el debate se observa que una gran parte de su conocimiento es declarativo: desconoce que el EI es un efecto natural y lo achaca en exclusiva a la quema de combustibles fósiles. Lo mismo sucede con el resto de las cuestiones: es capaz de formular definiciones, pero no de modelizar los procesos. Muestra preocupaciones ambientales, pero desconoce informes y acciones internacionales. No conocía la existencia ni las aportaciones de Eunice Foote ni otras contribuciones científicas a la ciencia climática. No percibe la interdisciplinariedad en el fenómeno del CC ni en su estudio (*¿es física o es química?*). Tras el debate, cada estudiante debe revisar sus respuestas y modificarlas si es preciso.

Actividades de introducción de nuevos conocimientos

A la vista de los resultados del KPSI y del debate realizado, se procede a proporcionar información sobre diversos aspectos, que deben analizar en grupo, mediante estrategias de trabajo cooperativo. Lectura compartida del Informe WMO (2023) y de artículos sobre la influencia del CO₂ y del vapor de agua en la absorción del calor (energía) de los rayos del Sol.

Revisión y análisis colectivo de la comunicación de Eunice Newton Foote (1856) ante la AAAC para comprender la metodología seguida y evaluar sus conclusiones, en el marco del conocimiento científico de la primera mitad del siglo XIX. Como fuente adicional de contraste, se propone lectura y análisis al artículo de Ortiz y Jackson (2020).

Los análisis realizados se suben al aula virtual, de acuerdo con una rúbrica de evaluación (Tabla 2) previamente establecida (Álvarez et al., 2013), exponen sus producciones por grupos y se realiza un debate en gran grupo, que se graba. De esta manera, alumnado y profesorado disponen de las producciones orales y escritas de dicho grupo, a fin de realizar un seguimiento de los aprendizajes y reflexionar sobre ellos en cualquier momento. Modifican sus producciones, si es preciso, y se efectúa una coevaluación. Las producciones estudiantiles orales y escritas se han examinado mediante la técnica de análisis de contenidos (Cook y Reichardt, 2005).

TABLA 2. Rúbrica de evaluación.

Criterios de evaluación (Rúbrica)				
Presenta actividades completas.				
Utiliza una expresión clara y correcta.				
Realiza aportaciones originales y coherentes con lo que se pretende en la actividad.				
Recoge los debates del grupo de trabajo y del aula.				
Reflexiona sobre lo que ha aprendido, las dificultades y ventajas encontradas en el trabajo en grupo, y explicita dudas.				
Enuncia lo que falta por aprender y formula propuestas de continuidad y de mejora.				
Establece relaciones significativas entre conocimientos científicos (avanza en el modelo).				
Justifica y argumenta sus respuestas y aportaciones				
Explicita necesidades de formación				
Escala de valoración				
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]
No realiza la tarea	Las aportaciones a la tarea son poco significativas	Desarrolla algo las tareas de forma aislada	Desarrolla bastante las tareas y establece relaciones significativas	Documenta, fundamenta, justifica y argumenta sus respuestas de forma coherente

Actividades de estructuración: reproducción del experimento de Eunice

Se plantea una realización actualizada al siglo XXI de dicho experimento, en lo que respecta al marco teórico y a la utilización de tecnologías electrónicas e informáticas: medidas ultrarrápidas y manejo de elevados volúmenes de datos.

El grupo clase de 23 personas se divide en 5 pequeños grupos. Las experiencias se realizaron en orden secuencial a lo largo de cuatro semanas. Cada grupo se encargó de realizar uno de los experimentos propuestos y las gráficas, de presentar al grupo clase los resultados obtenidos, así como de exponer y defender las conclusiones a las que ha llegado (Tabla 3). El profesorado evalúa las actividades realizadas, mediante la rúbrica establecida, y se realiza una coevaluación con el grupo-clase. Las actividades y los debates quedan registrados en el aula virtual de la materia.

Experimento	1A	1B	2	3	
Nº personas/grupo	4	4	5	5	
Realización, presentación, resultados, debate, evaluación	Primera semana		Segunda semana		
Inserción de la actividad grupal en el aula virtual	Tercera semana				
Evaluación y coevaluación	Cuarta semana				

TABLA 3. Temporalización de la experiencia.

El intervalo temporal entre los experimentos 1A - 1B y el resto queda totalmente justificado a continuación.

- Se efectuó el procesamiento de datos experimentales, cálculos y representaciones gráficas, con la suite ofimática LibreOffice como software libre opensource.
- La selección del equipamiento experimental se realiza de acuerdo con las disponibilidades de Eunice, que utilizó material de uso común (botellas y termómetros). Utilizamos botellas de refrescos de 2 L de PET incoloro y transparente (así, disponemos de gran número de recipientes iguales estandarizados), reactivos comunes (bicarbonato sódico, ácido acético, papel de filtro, hidróxido sódico, agua destilada y silicagel de tapones de cápsulas deshidratantes (Figura 1).

FIGURA 1. Material utilizado.



- Como equipamiento de medida, termómetros de dilatación. Para registro electrónico de temperaturas frente a tiempo, dos opciones: b1- sensor termométrico PS-2125 PASPORT, SPARK Science Learning System PS-2008, con su sensor de temperatura ambiente y software SPARKvue 4.7.x; o bien, vía Smartphone, mediante bluetooth PASCO AIRLINK PS-3200 software SPARKvue 4.8.

- También se emplearon: la tarjeta Arduino UNO Rev. 3, el DHT22 AM2302 sensor de

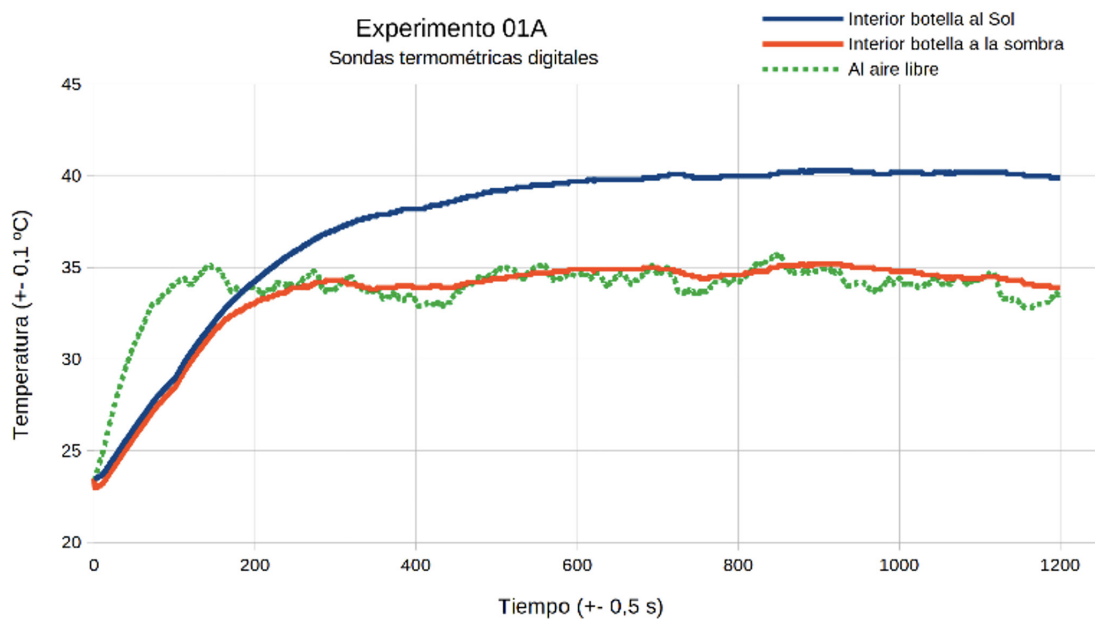
temperatura ambiente, la DS18B20 sonda digital de temperatura y el software *Arduino Science Journal* (s.f.). Se obtuvieron los mismos resultados que en los casos anteriores.

Se realiza una batería de experiencias, cuyos objetivos se detallan en cada uno de ellos:

- Experimentos preliminares 1A y 1B: Tienen por objetivo comprobar la viabilidad de medición de diferencias significativas de temperaturas del interior de botella de PET, por exposición al sol y a la sombra, contra la temperatura ambiente y verificar la correlación de medidas con termómetros de dilatación y digitales.

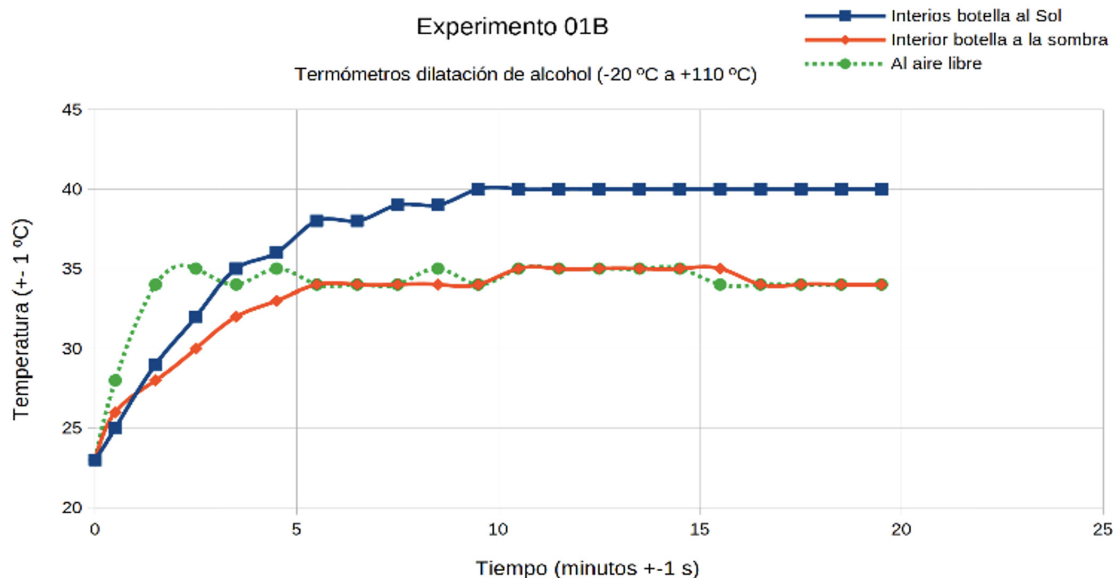
Se toman dos botellas llenas de aire a presión atmosférica, con tres sondas termométricas digitales, una en el interior de la botella cerrada expuesta al Sol, otra sonda en el interior de la botella colocada a la sombra y la tercera sonda al aire libre, a la sombra, para registrar la temperatura ambiente.

Al mismo tiempo, se toman otras dos botellas llenas de aire a presión atmosférica, con tres termómetros de dilatación de alcohol, uno con el bulbo en el interior de la botella cerrada expuesta al Sol, otro termómetro con el bulbo en el interior de la botella colocada a la sombra y el tercer termómetro a la sombra al aire libre para registrar la temperatura ambiente.



GRÁFICA 1. Experimento 1A. Registros de temperatura frente al tiempo.

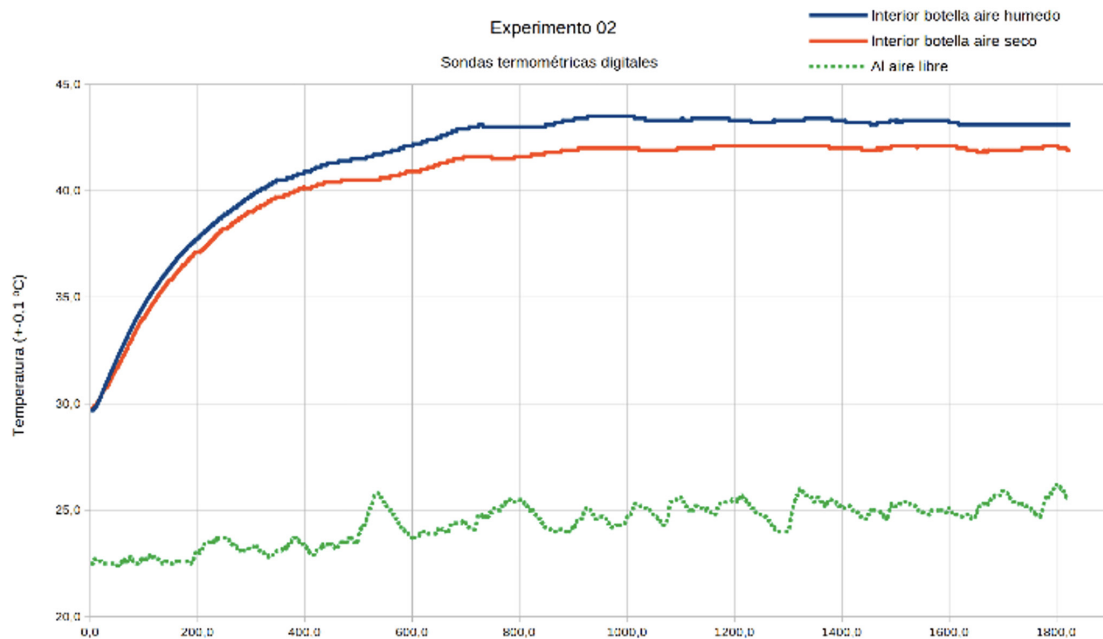
Las representaciones gráficas de ambos registros 1A y 1B muestran la coincidencia de valores termométricos en tiempo (Gráficas 1 y 2), medidos con termómetros de dilatación de alcohol y con sondas digitales, lo que los valida como instrumentos científicos. Muestra también los diferentes valores de temperatura de las botellas con el tiempo de exposición. Su comportamiento varía según esté al Sol o a la sombra; por lo tanto, los rayos del Sol (radiación) aportan calor (energía) que es absorbida por el aire encerrado en la botella y hace subir su temperatura.



GRÁFICA 2. Experimento 1B. Registros de temperatura frente al tiempo.

- Experimento 2: Tiene por objetivo determinar la influencia en el aumento de temperatura de la presencia de vapor de agua en la atmósfera.

Para ello, se registran las temperaturas (Gráfica 3), con sondas sondas digitales termométricas, en el interior de dos botellas expuestas a irradiación solar directa, una con aire atmosférico seco y la otra con aire húmedo saturado, junto a la sonda de temperatura ambiente.



GRÁFICA 3. Experimento 2. Influencia del vapor de agua.

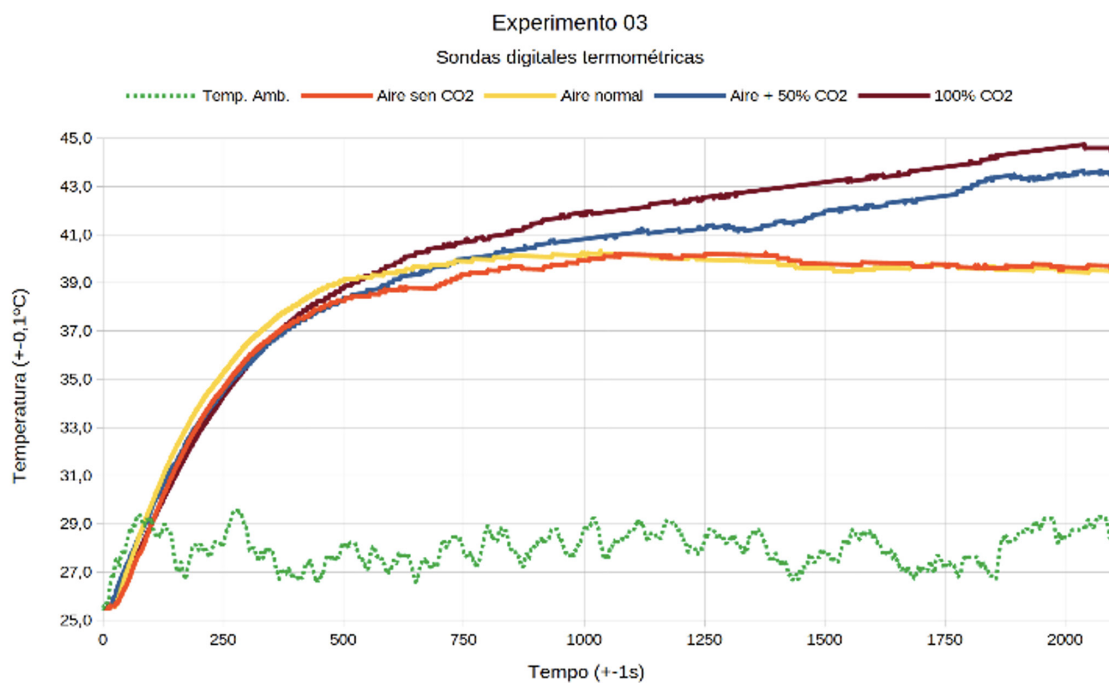
La representación gráfica de los registros muestra el calentamiento progresivo de ambas botellas. Considerando los valores de temperatura, a partir de los 800 ± 1 s hasta final,

podemos interpolar unos promedios de $23,3 \pm 0,1$ °C de temperatura ambiente, para la botella con aire húmedo de $41,2 \pm 0,1$ °C y para la botella con aire seco de $40,4 \pm 0,1$ °C. Estos valores dan una diferencia de $0,8 \pm 0,14$ °C. Con un 17% de error relativo se puede afirmar la positiva influencia del vapor de agua en la mayor absorción del calor (energía) de los rayos del Sol.

- Experimento 3º: determinar la influencia de la presencia de CO₂ en la temperatura y su variación con la concentración.

Se registran las temperaturas con sondas digitales termométricas, en el interior de cuatro botellas expuestas a insolación solar directa, la primera con aire seco atmosférico sin CO₂, la segunda con aire seco atmosférico estándar, la tercera con una mezcla seca de aire atmosférico y CO₂ gas al 50% y la cuarta con CO₂ gas seco al 100% (Gráfica 4).

La representación gráfica de los registros muestra las diferencias de comportamiento con concentraciones de CO₂ del 100%, el 50% y del 0%. Para estimar estas diferencias, si se toman los 500 últimos datos, para focalizarse hacia un estado cuasi-estable, tendremos que la botella con CO₂ gas al 100% presenta un incremento de temperatura de $+4,4 \pm 0,14$ °C (3,2 % de error relativo) con respecto a la temperatura de la botella con aire sin CO₂ y que la botella con CO₂ al 50% de $+3,3 \pm 0,14$ °C (4,2 % error relativo). Aunque las diferencias de temperatura entre la botella con aire atmosférico estándar y la botella sin CO₂ no son significativas, por lo que debemos excluirlas de la conclusión, los datos demuestran que un incremento de la concentración de CO₂ aumenta la absorción del calor (energía) de los rayos (radiación) del Sol.

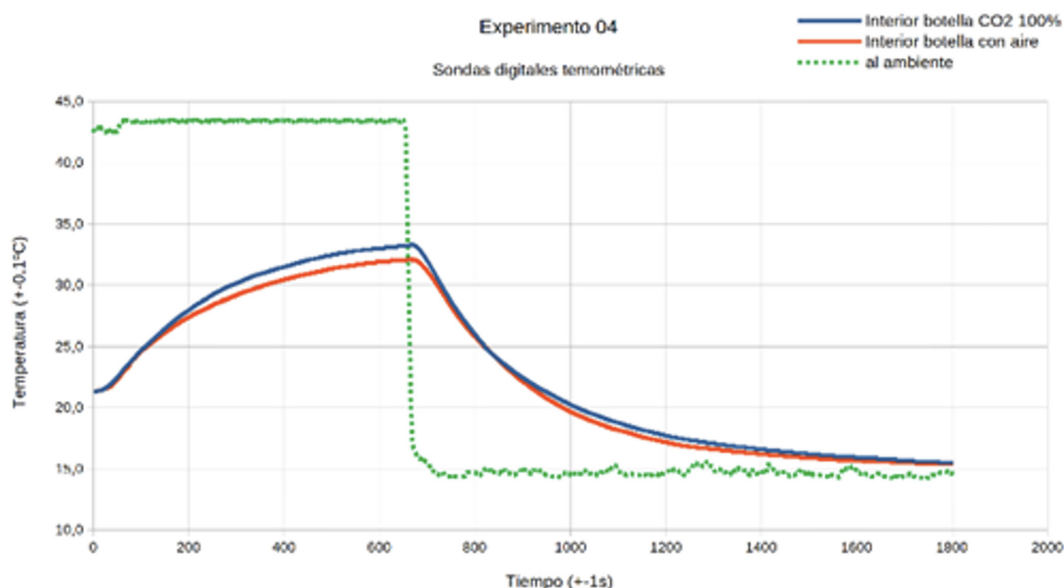


GRÁFICA 4. Experimento 3. Variación de la T según los gases de las botellas.

- Experimento 4: Su objetivo es evidenciar que la naturaleza de la molécula condiciona la evolución del sistema termodinámico.

Para comprender el equilibrio dinámico que se establece en cada uno de los experimentos anteriores, se realiza el registro de un calentamiento controlado y del enfriamiento de dos botellas, una con aire atmosférico y otra con CO₂ al 100%. Se introducen en una cámara termostática a 45 °C, que la sonda termométrica ambiente fija en 43,5 ± 0,1 °C; a los 10 minutos se extraen las dos botellas y la sonda de control y suspendidas a la sombra se exponen a la temperatura ambiente botellas y la sonda ambiente de 14,7 ± 0,1 °C, de media.

La representación gráfica de los registros (Gráfica 5) muestra que, aunque la botella de CO₂ y la de aire se calientan a la misma temperatura, el CO₂ alcanza una temperatura mayor que la del aire. Al ser expuestas a la temperatura ambiente, podemos apreciar que ambas botellas se enfrían, cediendo calor (energía) al medio ambiente hasta acabar a su misma temperatura, pero la botella de aire se enfría más deprisa.



GRÁFICA 5. Experimento 4. Equilibrio dinámico de los experimentos anteriores.

Cada grupo debe registrar sus actividades en el aula virtual, exponerlas y formular sus conclusiones, según el orden de los experimentos.

De sus producciones escritas y orales, se muestran los siguientes aspectos:

- Sus ideas iniciales han evolucionado y muestran comprensión de las causas del CC, del aumento del EI (Cipamocha, 2022), de la secuencia experimental, de la influencia del CO₂ y del vapor de H₂O en la atmósfera sobre la temperatura y un cierto acercamiento a la HCT en la temática estudiada, pero no así de la interpretación de los fenómenos.
- Carencia de referencias en su propia formación científica durante el Bachillerato y el Grado.
- Creencia de que las actividades prácticas mejoran automáticamente el rendimiento estudiantil y su dominio de la materia.
- Apenas establecen una relación entre el experimento y su fundamento teórico.

Actividades de aplicación y evaluación final

De acuerdo con los resultados de la evaluación, efectuada hasta el momento, se procede a realizar las siguientes actividades de aplicación y de reflexión, cuyos objetivos son: interpretar los fenómenos observados y diseñar una intervención docente para educación secundaria, que explique y modelice, en el nivel submicroscópico, los efectos macroscópicos registrados experimentalmente (aumento de la temperatura):

A partir del conocimiento termodinámico actual, se efectúa una revisión de los conceptos empleados por Eunice Newton (calor por energía), se realiza una revisión elemental de los flujos de energía en el sistema experimental (Figura 2).

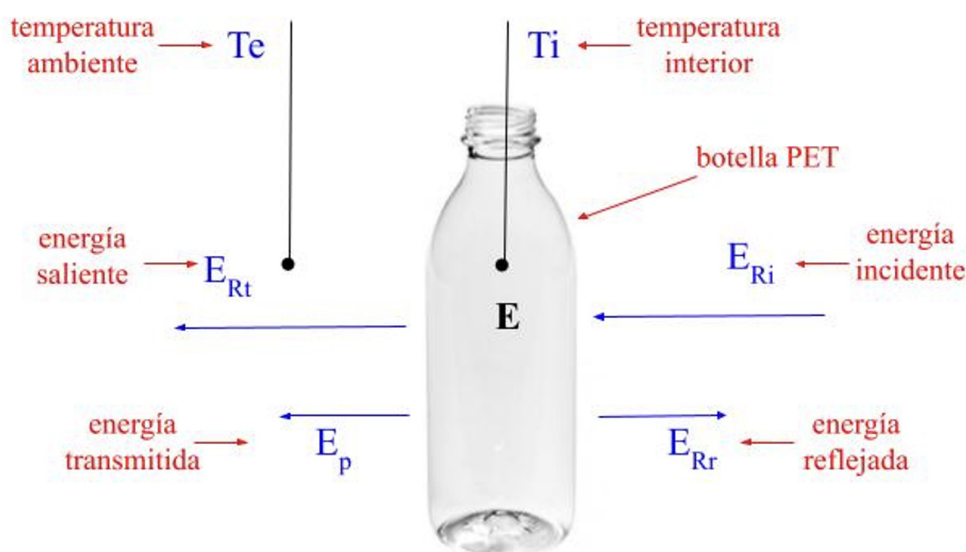


FIGURA 2. Flujos de energía en el sistema experimental.

Las conclusiones del experimento 1 indican que la botella expuesta al Sol recibe la energía -radiación incidente [E_{Ri}], parte es reflejada [E_{Rr}], el resto atraviesa la capa de polietileno PET transparente de la botella, interacciona con el aire o el gas contenido que absorbe otra parte [E] y la restante [E_{Rt}] sale. A medida que el aire o el gas contenido absorbe energía, junto a la botella, se calienta e incrementa su temperatura interior [T_i], con respecto a la temperatura del ambiente exterior [T_e], por lo que empieza a ceder energía al ambiente [E_p] por conducción. Mientras que la botella a la sombra no recibe la [E_{Ri}] y, por lo tanto, tampoco emite la [E_{Rt}] y al mantenerse a la misma temperatura ambiente ($[T_i] = [T]$) tampoco emite [E_p].

Se formulan preguntas relacionadas con el modelo:

“Si dos botellas iguales, del mismo volumen e idéntica presión atmosférica, una con de aire húmedo (mezcla N_2 , O_2 y H_2O) absorbe más energía que otra con aire seco (mezcla N_2 y O_2), ¿Cómo puede producir este efecto el vapor de agua?”.

“La presencia del CO_2 aumenta la absorción de energía y a mayor concentración más intensidad, ¿Cómo el CO_2 es capaz de producir este efecto?”.

La respuesta está relacionada con la estructura de las moléculas presentes, N_2 gas y O_2 gas (diatómicas) o H_2O y CO_2 (triatómicas), y sus formas de vibración en el infrarrojo, temática que se debe abordar según el nivel académico en que se desarrolle la experiencia.

“¿Por qué si las dos botellas están a la misma temperatura en la cámara, el CO₂ alcanza más temperatura que el aire?”.

La respuesta implica que el alumnado consulte la capacidad calorífica a presión constante del aire $1,01 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ y del CO₂ $0,84 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ (Linstrom, 2017; Engineering ToolBox, 2003).

“¿Por qué se enfría más deprisa la botella con aire que la botella con CO₂?”.

La respuesta se ha de basar en la conductividad térmica (Tabla 4).

TABLA 4. Conductividad térmica del aire y del CO₂.

Temperatura (°C)		35	20	15
$\frac{mW}{m \cdot K}$	Aire	26,99	25,87	
	CO ₂	17,50	16,20	15,80

Para comprobar la posible influencia del polietileno de la botella, se busca su conductividad térmica: $500 \frac{mW}{m \cdot K}$

Las respuestas justificadas y aprobadas en el debate telemático del grupo-clase, quedan consolidadas en el modelo definitivo. La actividad queda registrada en el aula virtual, de acuerdo con la rúbrica previamente establecida.

Se solicita el diseño de una intervención docente para educación secundaria, que explique y modelice, en el nivel submicroscópico, cómo la presencia del CO₂ y del H₂O produce los efectos macroscópicos registrados experimentalmente (aumento de la temperatura).

Igual que en los casos anteriores, la actividad queda registrada en el aula virtual, y se debate en gran grupo sobre dichas propuestas. Se graba en el aula virtual.

Se procede al análisis de contenidos y se detecta que:

- Muestran dificultades iniciales en la resolución de las preguntas formuladas para aproximarse a un modelo explicativo, por lo que se ha requerido la mediación del profesorado.
- Existe un conflicto significativo entre los objetivos que atribuyen a la implementación de experimentos y la forma en que pretenden llevarlos a las aulas, manipulando equipamiento experimental en vez de “manipular” ideas.
- Una parte del grupo considera que las fases reflexivas consumen demasiado tiempo lectivo.
- La idea de que las actividades experimentales implican algo más que “hacer” un experimento no la han interiorizado completamente.

Actividades de evaluación y coevaluación final

Se suministra de nuevo el KPSI, para comparar sus respuestas con las iniciales y reflexionar sobre su proceso de aprendizaje.

Cada estudiante, en grupo, explora el cambio en sus ideas iniciales, después del proceso de aprendizaje, a través de debates, evaluación y coevaluación con el profesorado de sus producciones orales y escritas (respuestas y justificación de las respuestas a las preguntas efectuadas, análisis de sus propuestas, formulación de dudas y de necesidades de formación).

El alumnado, mayoritariamente (65%), muestra su satisfacción por el trabajo realizado y los conocimientos adquiridos, en particular con aquellos relacionados con HCT, afirma actitudes de conservación y defensa del medioambiente, fórmula dificultades y necesidades de formación para superar las carencias detectadas.

A continuación, se muestran algunas contribuciones del alumnado, que ilustran lo afirmado (Tabla 5).

Aspectos generales	<p>Esta experiencia nos ha obligado a pensar</p> <p>Hemos hecho cosas interesantes y divertidas</p> <p>Los únicos modelos que conocíamos eran los modelos de la materia. Ahora, empezamos a comprender para qué sirven, pero formularlos resulta complicado.</p> <p>No tenemos costumbre de interpretar fenómenos.</p> <p>Es difícil pero necesario.</p> <p>Resulta difícil adaptarse a este método, pero hemos aprendido mucho.</p> <p>No se nos había planteado estudiar un fenómeno de forma interdisciplinar: era física o era química</p>
HCT	<p>Nunca habíamos reflexionado sobre la evolución de la ciencia.</p> <p>Sólo conocíamos algunos científicos, leyes y descubrimientos.</p> <p>Mujeres científicas: únicamente Marie Curie y Lynn Margulis</p> <p>La HCT es muy interesante</p>
Sobre el conocimiento científico	<p>No sabemos ciencias: “¡Casi 20 años de estudio para darnos cuenta de esto!”</p>
Interdisciplinariedad	<p>Habíamos estudiado física y química por separado. ¡Esto es nuevo!</p>
Evaluación	<p>Pensábamos que la evaluación significaba examen y calificación.</p> <p>Esto de la autorregulación es complicado</p> <p>Nunca habíamos reflexionado sobre lo aprendido y lo no aprendido. Es útil.</p>
El CC y el EI	<p>Teníamos muchos errores de concepto</p> <p>No habíamos leído informes, sólo noticias en el celular y en la TV</p> <p>La situación del planeta es más grave de lo que pensábamos. ¡Hay que actuar!</p>
Necesidades de formación	<p>Tenemos dificultades para expresar lo que queremos decir y para interpretar fenómenos.</p> <p>Tenemos que formarnos en: ciencias, en metodologías (sólo sabemos “explicar” temas), en evaluación y autorregulación, en HCT, en argumentación, en modelización ...</p>

TABLA 5. Aportaciones del grupo de estudiantes.

Pero, también hemos detectado persistencia de ideas previas, en dos grupos (35%), tales como: “es un método muy lento”, “el alumnado de secundaria necesita *dar el temario*”, “para aprobar las oposiciones no se necesita reflexionar, solo estudiar el *temario* y resolver *problemas*”. En dichos grupos no se hace referencia a la HCT, ni a la interdisciplinariedad, ni se mencionan necesidades de formación.

Conclusiones

Todo parece indicar que la formación recibida por el profesorado en formación inicial en sus estudios de Bachillerato y de Grado no ha redundado en aprendizajes significativos y es necesario que elabore y experimente secuencias didácticas de aula motivadoras, contextualizadas y acompañadas de evaluación metacognitiva y autorreguladora de su conocimiento y de su práctica, para avanzar hacia un pensamiento crítico (Couso, 2020; Izquierdo et al., 2022; de Poorter, 2014).

Para ello, se ha de tener en cuenta que la realización de actividades, con una metodología innovadora respecto al modelo transmisivo de la enseñanza de las ciencias, suele producir, como ha sucedido en este caso, sensaciones iniciales de sorpresa, desconcierto e incluso resistencia y reticencias, porque se ponen en cuestión sus concepciones previas.

En efecto, desde hace algunas décadas, se ha puesto de manifiesto la dificultad de modificar las ideas y concepciones iniciales de alumnado y profesorado (Trinidad-Velasco y Garritz, 2003). Por nuestra parte, hemos podido comprobar que no es fácil propiciar el convencimiento de que únicamente se aprende mediante la acción y la reflexión desde la “ciencia escolar”. Tampoco lo es el poner en cuestión sus concepciones sobre metodología, trabajo autónomo y evaluación o sobre la HCT, entendida no como algo inmutable y acumulativo, sino como un proceso de reconstrucción, como actividad humana y social que implica valores y complejidad (relaciones C/T/G/S). De esta manera, se propiciarán “nuevas formas de pensar, sentir y actuar, que permitan explicar y transformar el mundo” (Izquierdo et al., 1999). Es necesario dejar de pensar en “temas” y estudiar fenómenos significativos actuales, es decir, contextualizados, en este caso el CC, que permitan interpretaciones, formular preguntas y contribuyan a que la educación científica ofrezca un marco para la construcción de un mundo más justo y sostenible (Izquierdo et al., 2022; Quintanilla, 2006).

Respecto a las metodologías, convencer al alumnado de que el proceso de construcción, regulación y autorregulación de sus propios aprendizajes es más conveniente que el de repetir definiciones y leyes, requiere grandes dosis de empatía, accesibilidad y disponibilidad del profesorado. Este ha de estar dispuesto a resolver dudas, ofrecer alternativas, proporcionar recursos, reestructurar ideas... en definitiva, a mediar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje (Álvarez et al., 2013).

Coincidimos con Pujol (2008) en que se trata de organizar las clases alrededor de contextos comunes para compartir vivencias y experiencias, construir conocimientos — colaborativa e interdisciplinariamente— comprender los fenómenos y diseñar acciones para construir modelos de interpretación cada vez más complejos de procesos reales.

En este punto, nos hemos encontrado con otro problema, el enfoque interdisciplinar, que se contrapone con la experiencia previa del alumnado. Se entiende por tal un proceso en el que cada disciplina puede aportar diferentes visiones para el estudio del problema, de forma integrada y no sumativa (Arias et al., 2009). De esta manera, “cada disciplina

mantiene su integridad, al tiempo que se nutre de las demás, y al hacerlo aumenta la potencialidad para la comprensión integral de la situación estudiada. Se han de tener en cuenta, además, el contexto histórico y los factores sociales implicados en el proceso de construcción tecnocientífico" (Adame-Rodríguez et al., 2021), más allá de la idea positivista de un conjunto acumulativo de conocimientos correspondientes a disciplinas estanco.

Finalmente, se ha detectado un cierto avance en la construcción de modelos explicativos, pero no caeremos en el optimismo ingenuo de pensar que, con una experiencia por compleja que sea, vamos a solucionar los problemas del aprendizaje científico, pero los resultados obtenidos parecen indicar la posibilidad de avanzar hacia la adquisición de competencias científicas docentes desde las materias de Didáctica de las Ciencias Experimentales, en particular desde la EQ, en estudios de grado y master de formación del profesorado.

Referencias

- Adame-Rodríguez, J. D., García-Berlanga, O.M. y Pina, T. (2021). Concepciones didácticas del profesorado en formación inicial de ciencias naturales y educación ambiental en Colombia: una aproximación desde la interdisciplinariedad de las ciencias experimentales. *Tecné, Epistemey Didaxis: TED*, 3256-3261. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/14987>
- Álvarez Lires, M. (2023). Precursoras da sustentabilidade e da Axenda 2030. *Deputación de Pontevedra*. <https://www.depo.gal/es/-/precursoras-da-sustentabilidade-e-da-axenda-2030>
- Álvarez Lires, M., Arias Correa, A., Pérez Rodríguez, U. y Serrallé Marzoa, J. F. (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las ciencias*, 31(1), 213-233. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.622>
- Arduino Education (s.f.). *Empower scientists and artists of the future*. <https://www.arduino.cc/education/>
- Arias Correa, A., Arias Correa, D., Navaza, V. y Rial, D. (2009). *O traballo por proxectos en infantil, primaria e secundaria*. Xunta de Galicia.
- Cebrián, G. y Junyent, M. (2014). Competencias profesionales en Educación para la Sostenibilidad: un estudio exploratorio de la visión de futuros maestros. *Enseñanza de las ciencias*, 32(1), 29-49.
- Cipamocha, S. (2022). El desarrollo de los combustibles. Un contexto de aprendizaje para la enseñanza de la química. *Educación química*, 33(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.82383>
- Cook, T.D. y Reichardt, CH. (2005). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Ediciones Morata.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia involucra aprender ideas potentes de la ciencia: la modelización ayuda a la explicación-predicción de fenómenos. *Couso, D., Jiménez-Liso, MR, Refojo, C. y Sacristán, JA (Coords) (2020), Enseñando Ciencia con Ciencia. FECYT y Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House.*

- Daniels H., Edwards, Y. E., Gallagher, T. y Ludvigsen, S. R. (Ed.). (2010). *Activity theory in practice. Promoting learning across boundaries and agencies*. Routledge.
- de Poorter, D. (2014). Una crítica al ideario del desarrollo sostenible actual. *Revista Iberoamericana de Organización de Empresas y Marketing*, 1. <http://www.eumed.net/rev/ibemark/01/desarrollo-sostenible.html>
- Engineering ToolBox (2003). *Resistivity and Conductivity - Temperature Coefficients Common Materials*. Consultada el 20 mayo, 2023. https://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html
- Escobedo, R. y Cordero, T. (2023). Propuesta de proyecto transversal e interdisciplinario para educación media superior. "El calentamiento Global". *Educación Química*, 34(2), 139-150. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.83845>
- Folch, R. (2011). *La Quimera del Crecimiento: La Sostenibilidad en la Era Postindustrial*. Barcelona: Temas de actualidad ERB.
- Foote, E. (1856). Circumstances affecting the heat of the sun's rays. *Am. J. Sci. Arts*, 22(66), 382-383.
- Foote, E. (1856). ART. XXXI.--Circumstances affecting the heat of the sun's rays. *American Journal of Science and Arts (1820-1879)*, 22(66), 382.
- Girault, Y. y Sauvé, L. (2008). L'éducation scientifique, l'éducation à l'environnement et l'éducation pour le développement durable. *Aster*, 46, 7-30. <https://doi.org/10.4267/2042/20028>
- González, M. y Fernández-Jimeno, N. (2016). Ciencia, tecnología y género. Enfoques y problemas actuales. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(31), 51-60.
- Izquierdo, M., Calvo, C., Guitart, F., Garcia, G., Aliberas, J., Estaña, J. L. y Guerrero, M. (2022). Ciència escolar per als reptes actuals: esculls en el camí i estratègies per superar-los. *Ciències: revista del professorat de ciències de primària i secundària*, 43, 38-47. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.443>
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- Jiménez-Liso, M. R. J., Villalobos, L. H. y Lapetina, J. (2010). Dificultades y propuestas para utilizar las noticias científicas de la prensa en el aula de ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 107-126.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación.
- Linstrom, P. (2017), NIST Chemistry WebBook - SRD 69, National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.18434/T4D303>

- Melero, N. y Solís, C. (2012). Género y medio ambiente. El desafío de educar hacia una dimensión humana del desarrollo sustentable. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 8(2), 235-250.
- Moraga, S., Espinet, M. y Merino, C. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(1), 1604. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- ONU (2015a). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre CC 2015*. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
- ONU (2015b). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Resolución aprobada por la Asamblea General*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformourworld>
- Ortiz, J. D. y Jackson, R. (2022). Understanding Eunice Foote's 1856 experiments: heat absorption by atmospheric gases. *Notes and Records*, 76(1), 67-84. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2020.0031>
- Perlin, J. (2018). *Science Knows No Gender? In Search of Eunice Foote, Who, 162 Years Ago Discovered the Principal Cause of Global Warming*.
- Perlin, J. (2019). *Have You Heard of Eunice Foote, The Woman Who Discovered Global Warming in 1856?* <https://john-perlin.com/>
- Quintanilla, M. (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 9-23. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/view/6083>
- Sánchez, G., Quintero, T. y Lorenzo, M. G. (2021). Características de las explicaciones docentes en clases universitarias de química, *Educación Química*, 32(2), 109-119. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76992>
- Sanmartí, N. y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice*, 1(1), 3-16. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Shulman, L. (1986). *Pedagogical content knowledge (PCK)*.
- Sorenson, R.P. (2011). Eunice Foote's Pioneering Research on CO2 and Climate Warming. *Search and Discovery*, Art 70092. https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2011/70092sorenson/ndx_sorenson.pdf.html
- Steffen, W. y Stafford, M. (2013). Planetary boundaries, equity and global sustainability: why wealthy countries could benefit from more equity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3-4), 403-408. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.007>
- Torres, N. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias*, 34(2), 43-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>

Trinidad-Velasco, R. y Garritz, A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, 14(2), 92-105.

World Meteorological Organization (WMO) (2022). State of Climate in 2021: Extreme Events and Major Impacts. World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11593

Zazo, A., Arriagada, C. y Mora, M. (2019). Estrategias Metacognitivas en los Procesos Creativos. Taller Urbano como Espacio Integrador en la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Bío Bío (Concepción, Chile). *Formación universitaria*, 12(2), 41-50. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062019000200041>