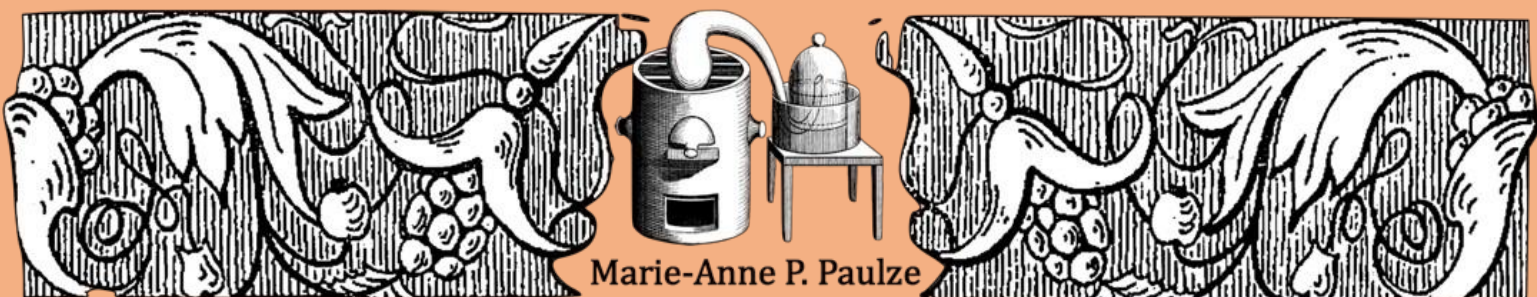


FARADAY



BOLETÍN DE FÍSICA Y QUÍMICA - Segunda época -



Año 2026
Número 45

HISTORIA · DIDÁCTICA · INFORMACIÓN · PROFESORADO

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (GEDH)
Real Sociedad Española de Física (RSEF) · Real Sociedad Española de Química (RSEQ)

ISSN: 2990-0271

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARTA DEL EDITOR.....	2
<i>FARADAY. BOLETÍN DE FÍSICA Y QUÍMICA: HISTORIA DE UN OLVIDO Y UN COMPROMISO</i> · LUIS MORENO MARTÍNEZ.....	2
APUNTES DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS.....	5
REFLEXIONES SOBRE EL USO DE LA IA EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS · GABRIEL PINTO CAÑÓN	5
EL PRINCIPIO DE CONSTRUCCIÓN: UNA ALTERNATIVA AL PRINCIPIO DE AUFBAU PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CONFIGURACIONES ELECTRÓNICAS · MARIO RODRÍGUEZ PEÑA.....	8
ACTITUDES Y OPINIONES DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO · JOSÉ MANUEL VAQUERO, FRANCISCO JAVIER ACERO, MANUEL ANTÓN, ALEJANDRO JESÚS PÉREZ APARICIO, VÍCTOR MANUEL SÁNCHEZ CARRASCO, MARÍA DE LA CRUZ GALLEGU Y JAVIER VAQUERO MARTÍNEZ.....	11
DESTACANDO LA E DE STEM: INGENIEROS Y DESARROLLOS SOCIALES, CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS MUY CONOCIDOS: EL PROYECTO ENGINEERS & STEM · ANA PAVANI, FÁTIMA E. M'HAMDI ALAOU, NATALIA MUÑOZ RUJAS, JENNIFER BAPTISTE Y EDUARDO MONTERO	15
APUNTES DE HISTORIA DE LA CIENCIA.....	18
MÁS ALQUIMIA EN LAS AULAS DE QUÍMICA · JOSÉ RAMÓN BERTOMEU SÁNCHEZ.....	18
LOS BERNOULLI O EL MAYOR MONSTRUO: LOS CELOS · JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ PONS.....	21
UN MALENTENDIDO PERTINAZ · JOSÉ ANGOSTO GARAT	25
¿ÁTOMOS O MOLÉCULAS? EL LEGADO DE STANISLAO CANNIZZARO EN EL BICENTENARIO DE SU NACIMIENTO. HISTORIA DE UNA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA PENDIENTE EN EL AULA DE FÍSICA Y QUÍMICA · LUIS MORENO MARTÍNEZ.....	28
TEMAS DE FÍSICA Y QUÍMICA.....	31
CONOCIENDO LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS: EL AZÚCAR · JOSÉ MARÍA HERNÁNDEZ.....	31
UN POCO DE FÍSICA DEL BÉISBOL · JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ PONS.....	34
AULAS ABIERTAS	38
¿SE PUEDE ELEGIR EL MEJOR ARROZ CON QUÍMICA? UNA PROPUESTA EXPERIMENTAL BASADA EN ESPECTROFOTOMETRÍA Y EL COMPLEJO YODO-ALMIDÓN · JOSÉ JUAN SIRVENT CARBONELL	38
APRENDER FÍSICA CON EJEMPLOS REALES: LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS REVERSIBLES EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA · DANIEL FRANCISCO LOIS	41
TRES EJEMPLOS DE CÓMO APROVECHAR RELATOS DE MITOS PARA PRESENTAR EXPERIMENTOS DE QUÍMICA · JOSEP COROMINAS VIÑAS	45
¡NO AL BOTELLÓN! RECALIBRADO DE UN REFRACTÓMETRO PARA DETERMINAR LA GRADUACIÓN ALCOHÓLICA DE MEZCLAS REFRESCO-ETANOL · JOSÉ PLAZA CATALÁN, IRENE CARRASCOSA LAMPARERO, HUGO FERNÁNDEZ BOSCH, LOLA SÁNCHEZ VILA Y LUCÍA MARTÍN ROMERO.....	49
A VUELTAS CON LA CENTRÍPETA Y LA CENTRÍFUGA · FERNANDO IGNACIO DE PRADA PÉREZ DE AZPEITIA	52
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN «ESCAPE BOX» DE REACCIONES QUÍMICAS EN 2.º ESO · LAURA CARMONA CABALLERO, MARTA IZQUIERDO BARROSO Y JUAN PEÑA MARTÍNEZ.....	57
TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA EDUCACIÓN: EDUVERS · JUAN JOSÉ LOS ARCOS.....	61
RESISTENCIA DEL AIRE EN CAÍDA LIBRE · PABLO CASSINELLO ESPINOSA	63
LAS IMPRUDENCIAS AL VOLANTE SE PAGAN: INVESTIGAR UN ACCIDENTE URBANO POR EXCESO DE VELOCIDAD CON SIMULADORES DE MRU EN 2.º ESO · RAFAEL CABRERA MOSCOSO.....	66
¿QUÉ HACEMOS CON EL ACEITE USADO? UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA DE QUÍMICA CON ENFOQUE EMOCIONAL EN CICLOS FORMATIVOS DE GRADO BÁSICO · ESTELA PERAL ELENA.....	69
ALGUNOS EXPERIMENTOS ACERCA DE LA COMBUSTIÓN DE LA LANA DE ACERO · JUAN ANTONIO LLORENS MOLINA	73
ESTUDIO DEL ESTRÉS EN LA ADOLESCENCIA Y USO DE PLANTAS MEDICINALES COMO ALTERNATIVA PARA SU GESTIÓN · ESTRELLA PRIOR SANTANA Y MANUEL VÉLEZ	77
DEL LHC AL AULA. DOS SEMANAS EN EL CORAZÓN DE LA FÍSICA: <i>INTERNATIONAL HIGH SCHOOL TEACHER PROGRAMME</i> · CARLOS MORENO BORRALLA.....	79
LA VOZ DE LA EXPERIENCIA	83
ENTREVISTA AL PROFESOR AURELI CAAMAÑO ROS · LUIS MORENO MARTÍNEZ.....	83
LA FÍSICA Y QUÍMICA A LO LARGO DEL TIEMPO. MEMORIAS DE UN VIEJO PROFESOR: PRIMEROS PASOS EN LA CIENCIA Y LA DOCENCIA · JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ PONS	85
LA BIBLIOTECA DEL PROFESORADO	87
TABLÓN DE ANUNCIOS	89

Carta del editor

Faraday. Boletín de Física y Química: historia de un olvido y un compromiso· Luis Moreno Martínez

El mes de enero de 1928 se publicaba el primer número de *Faraday. Boletín de Física y Química*. Su fundador y editor, el profesor Modesto Bargalló Ardévol –figura fundamental en la renovación pedagógica de la enseñanza de las ciencias en la España del primer tercio del siglo XX– nos legó en el primer editorial de aquel número los propósitos de aquella recién creada publicación:

Lejos de nuestro ánimo pretender que este Boletín sea un órgano de investigación científica. Nuestro objeto es más modesto: Además, en este aspecto los tiene ya el profesorado español: basta citar los admirables *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*.

Hemos medido bien nuestras fuerzas, y es lógico que no salgamos del límite que nos imponen: coadyuvar a realizar el afán que nuestro profesorado siente por los problemas de la Didáctica de los conocimientos fisicoquímicos, tan íntimamente ligados con su génesis. Conceptos ambos, Método e Historia, que no hemos de fusionar, peso sí enlazar para el bien de los métodos y del espíritu de la Enseñanza. Por eso, paralelamente a cuestiones didácticas, describiremos, tomándola de sus propias obras, la labor de los fundadores de las Ciencias Físicoquímicas. Además, procuraremos sintetizar los avances en los campos de la Física y de la Química y aportar cuantos datos puedan interesar al profesorado español de ambas disciplinas.

No huiremos si sobre nosotros cayera toda la labor; pero esto no ocurrirá y con todo el afecto de compañeros y con toda gratitud anticipada, aguardamos los trabajos de índole didáctica con que nos favorezcan los profesores que sientan la bienhechora necesidad de exponer a la consideración de los demás los resultados y las dudas en la labor a que nos debemos: la formación de los alumnos de enseñanza media en los centros profesionales y en Institutos de 2ª Enseñanza.

Véase en el nombre Faraday que hemos adoptado, un símbolo que nos guía. Sirvan de norma la vida y la obra del sabio inglés. Sencilla y templada, impregnada por la avidez de superarse con los escasos medios de que disponía, aprendiendo siempre, solitario, sin maestros, con el noble empeño de saciarse en todas las ramas del espíritu y con el admirable tesón de que está poseído quien confía vencer en la lucha: leamos sus formidables *Experimental-Researches*, lección de centenares de descubrimientos y de fracasos superados, por su voluntad perseverante, que dominó con temple de acero y a la par, los campos de la Física y de la Química. Hombres de esta naturaleza son los que de verdad educan: aquellos cuyo espíritu une al genio una voluntad pura, tenaz y cordial.

Modesto Bargalló Ardévol
Enero de 1928
Guadalajara, España

A menos de dos años de conmemorarse el centenario de *Faraday*, poco más puede ser añadido a las palabras del profesor Bargalló, que, con matices, continúan plenamente vigentes. Quien hoy aquí escribe conoció la obra de Modesto Bargalló en 2015, con motivo del Trabajo Fin de Máster que ofertaba el profesor José Ramón Bertomeu Sánchez en el marco de los estudios de Máster Interuniversitario en Historia de la Ciencia y Comunicación Científica de las Universidades de Alicante, Valencia y Miguel Hernández. Mi interés por el legado bargalliano hizo imposible no querer continuar profundizando en su nada modesta obra y en su vibrante biografía, cuestiones que abordé en mi tesis doctoral en historia de la ciencia en el Programa de Estudios Históricos y Sociales sobre Ciencia, Medicina y Comunicación Científica de la Universitat de València y en una estancia postdoctoral en el Instituto Politécnico Nacional de México, país donde Bargalló se exilió en 1939. Fruto de aquellos años de investigación llegaron a mis manos los ejemplares de *Faraday*, conservados en la Biblioteca de Catalunya. Ante aquellas páginas ya amarillentas merced a la oxidación de la lignina, fue imposible no sentir una profunda pena y sensación de injusticia por el olvido en el que había caído esta publicación, salvo menciones puntuales en la literatura académica. Como se abordó en el artículo que en 2021 publicó *Enseñanza de las Ciencias* recuperando *Faraday* para la comunidad de didactas de las ciencias, las páginas del histórico *Faraday* mostraban el interés del profesorado por fomentar el intercambio de reflexiones en torno a la didáctica de la física y la química, el anhelo porque los docentes de estas materias abriesen sus aulas y la apuesta decidida por el alto valor pedagógico de la historia de la ciencia.¹ Así, las páginas de *Faraday* ponen de manifiesto que mucho antes de la existencia de los Departamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales en las universidades o de la creación de revistas especializadas en el área, los docentes de enseñanzas medias tuvieron un papel destacado en la reflexión sobre cómo debía ser enseñada la física y la química. Asimismo, sus páginas se hacían eco de la eclosión de centros de investigación, revistas y congresos sobre historia de la ciencia que estaba teniendo lugar en diversos países, denunciando la escasa presencia de este campo del saber en España. Un campo del saber que encerraba para el profesor Bargalló un gran potencial para el profesorado y el alumnado, ya que una mayor comprensión del desarrollo histórico de la ciencia dota al que la posee de un conocimiento más profundo de sus propios fundamentos, a la par que ofrece un proscenio privilegiado de personajes y circunstancias para la promoción de valores y aptitudes fundamentales para la ciencia y para el individuo, como la perservancia, el esfuerzo, el compromiso y la humildad. Estos aspectos, parapetados en un lenguaje diferenciado y en otro contexto académico, siguen siendo de plena actualidad.

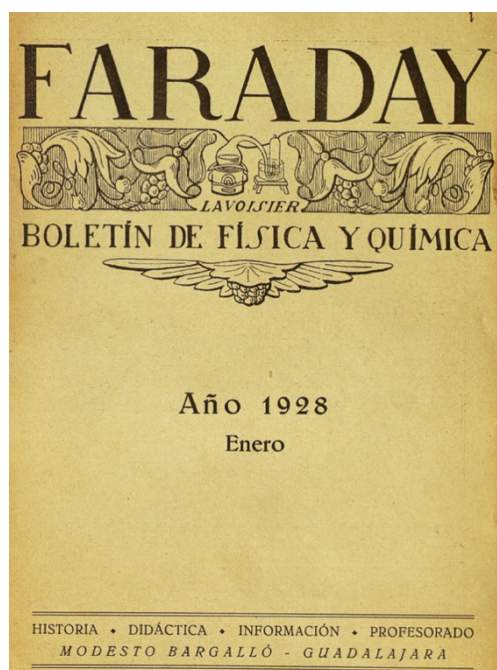


Figura 1. Portada del primer número de *Faraday*.

Los docentes apenas tenemos tiempo para la reflexión en torno a nuestro quehacer enseñando Física y Química y vemos muchas veces con notable recelo investigaciones didácticas muy alejadas de lo que necesitamos y encontramos en nuestro día a día a pie de aula. Por otro lado, enseñar Física y Química sin conocer en profundidad la didáctica de ambas ciencias empobrece nuestra labor, ya que perdemos estrategias eficaces para facilitar el aprendizaje de nuestro alumnado. Esta desconexión entre aulas reales e investigación es todavía mayor cuando nos referimos a la historia de la ciencia. A través de medios digitales y no pocos libros de texto y obras de divulgación científica, circulan narrativas históricas sobre ciencia notablemente alejadas de los resultados que ha proporcionado la investigación en historia de la ciencia. Los trabajos de los historiadores de la ciencia siguen siendo todavía desconocidos en el ámbito científico, divulgativo y educativo; trasladándose imágenes del desarrollo de la ciencia y de sus protagonistas ora distorsionadas ora completamente alejadas de la evidencia. Ante esta situación, conocer y recuperar iniciativas como *Faraday* nos permite comprender que historia y didáctica de la ciencia han tenido un desarrollo notablemente conectado entre sí que la consolidación disciplinar de ambas áreas del saber no ha contribuido a reforzar. Quien escribe, doctor tanto en Didáctica de las Ciencias como en Historia de la Ciencia, no puede sino ver el fin de este divorcio como un reto fundamental; tanto más dado su oficio y vocación, profesor de Física y Química de Enseñanza Secundaria. A tenor de todo ello, en 2021 el profesor Gabriel Pinto Cañón, presidente del GEDH entre 2017 y 2025, tuvo a bien rebautizar el boletín informativo del grupo -que el profesor Pinto editaba desde 2004- con la denominación *Faraday. Boletín de Física y Química (Segunda Época)*.



Figura 2. Modesto Bargalló hacia 1951. Fuente: *Trabajos, artículos y apuntes*.³

Este cambio no es solo nominal, sino que entronca directamente con los fines y compromisos de este Grupo. Como ya advirtió Bargalló en su editorial, existen revistas de gran interés para publicar trabajos académicos. El profesorado dispone actualmente de varias revistas para publicar investigaciones en didáctica e historia de la ciencia. Asimismo, *Revista Española de Física* de la RSEF y *Anales de Química* de la RSEQ incluyen secciones destinadas a trabajos sobre la historia y la didáctica de ambas ciencias, en las que animamos a publicar. El objetivo de *Faraday* es mucho más modesto: servir al profesorado de Física y Química, especialmente de Enseñanza Secundaria. No en vano «Al servicio del profesorado desde 1986» ha sido el leitmóvil elegido por la nueva Junta de Gobierno del GEDH, que tengo el honor de presidir, con motivo de los 40 años de la creación de este nuestro querido Grupo Especializado que celebramos este año. *Faraday* pretende servir al profesorado ofreciéndole un espacio en el que abrir sus aulas y compartir sus experiencias, pero también un espacio en el que encontrar investigaciones en didáctica e historia de la ciencia, investigaciones científicas en cuestiones de física y química e informaciones de interés para su ejercicio profesional. Es por ello que invitamos también a científicos, didactas e historiadores de la ciencia a divulgar sus investigaciones entre el profesorado a través de las páginas de *Faraday*.



Figura 3. Logo renovado del GEDH con motivo del XL Aniversario de su creación. Fuente: GEDH RSEF-RSEQ.

Me van a permitir que concluya estas líneas dirigiéndome al profesorado de Física y Química de Enseñanza Secundaria, mis queridos compañeros. Ser docente de nuestra especialidad en ESO, Bachillerato y FP es, a mi modesto entender, un compromiso profesional con la ciencia y la educación que nos permite sembrar cultura científica en la sociedad y contribuir a la formación integral de sus miembros. Es un reto apasionante y a la vez desafiante. Un desafío en el que no estamos solos. En otras aulas y en otros centros encontraremos a otros docentes pensando en las mismas cuestiones que nosotros o enseñando lo mismo de una manera diferente. Solo si abrimos nuestras aulas, si compartimos nuestros quehaceres, si pensamos en voz alta, conseguiremos recuperar ese espíritu que destilaban las páginas de *Faraday* original: generar una comunidad de profesores de Física y Química que asuman el papel académico y social que estamos llamados a desempeñar como mediadores entre el conocimiento científico y la ciudadanía. Una comunidad que construya una didáctica de la física y la química «con las manos llenas de tiza», con los pies en el aula y con la mirada puesta en dar la mejor educación a nuestros alumnos y alumnas. Es, sin duda, un desafío en el que no partimos de cero. Somos herederos de una valiosa historia, protagonizada por ilustres docentes como Modesto Bargalló (cuya silueta se esconde, literalmente, en cada página de este nuevo *Faraday*), a los que no solo no cabe olvidar, sino que hemos de conocer y cuyo legado merece ser recuperado, valorado y divulgado.⁶ Esta modesta publicación es pues un espacio para compartir y para departir entre quienes navegamos entre la didáctica y la historia de la física y la química. No podría concluir estas líneas sin expresar «afecto y gratitud anticipada» a todos los compañeros que han contribuido a esta número 45 de *Faraday. Boletín de Física y Química* con sus interesantes trabajos. Gracias por vuestro esfuerzo y vuestra generosidad. Espero, querido lector, que disfrutes de su lectura y que, tras el merecido descanso estival, estas páginas catalicen nuevas ideas, muchas experiencias y un sinnúmero de recursos para el nuevo curso.

Gracias por vuestro tiempo, buena lectura... ¡y hasta el curso que viene!

Siempre a vuestro servicio.

En Madrid, a 30 de junio de 2026.

Luis Moreno Martínez
Profesor de Física y Química del IES Enrique Tierno Galván de Parla (Madrid)
Presidente del GEDH RSEF-RSEQ y editor de *Faraday. Boletín de Física y Química*
luis.morenomartinez@educa.madrid.org

Bibliografía

1. Moreno Martínez, L. (2021). El boletín *Faraday* (1928-29) y las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), pp. 215-230
2. Mainer Baqué, J. (2009). *La forja de un campo profesional. Pedagogía y Didáctica de las Ciencias Sociales en España* (1900-1970). Madrid: CSIC.
3. Bernal Martínez, J. M. (2001). *Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas y experiencias escolares (1882-1936)*. Madrid: Biblioteca Nueva.
4. Moreno Martínez, L. (2026). «Ciencia no vista nacer y formar por quien en ella va a iniciarse es ciencia muerta». La física en las aulas españolas de la década de 1920, un legado por divulgar. *Revista Española de Física*, 40(1), pp. 15-21.
5. Bargalló, M. (1973). *Trabajos, artículos y apuntes (1940-1972) sobre química, enseñanza y metalurgia mexicana y de Hispanoamérica colonial*. México D.F.: Edición a cargo del autor.
6. Moreno Martínez, L. (2025). El legado de Modesto Bargalló en España y México para la didáctica y la historia de la ciencia. *Anales de Química*, 121 (3), pp. 179-187.

Apuntes de Didáctica de las Ciencias

Reflexiones sobre el uso de la IA en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias · Gabriel Pinto Cañón

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) —término introducido a mediados del pasado siglo— en los últimos años ha sido espectacular, haciendo que ya forme parte de la realidad cotidiana. Tras una breve reseña introductoria, basada en la amplia bibliografía existente sobre su uso en educación, se recoge un análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y debilidades) sobre su aplicación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química en las diversas etapas educativas. Como es bien sabido, el desarrollo en las últimas décadas de los datos masivos (*big data*), computación en la nube (*cloud computing*), redes neuronales artificiales (*artificial neural networks*) y el aprendizaje automático (*machine learning*), ha permitido la creación de sistemas que pueden simular la inteligencia humana.¹ Estos sistemas, que se denominan en conjunto como IA (o AI por sus siglas en inglés), han supuesto importantes cambios en gestión de la información, administración y el propio día a día de la ciudadanía. Además, los avances de las aplicaciones son tan rápidos y tan curiosos que resultan abrumadores. Desde los inicios de la IA se han considerado sugerentes aplicaciones en el campo educativo, así como una serie de riesgos. Al respecto, se sugieren algunos trabajos, en los que se ponen de manifiesto algunas de estas cuestiones, y se ofrece amplia bibliografía al respecto.¹⁴ Los campos de la enseñanza de las ciencias en general, y de la química en particular, no han sido ajenos. A modo de ejemplo, desde el año 2023 se ha publicado un buen número de trabajos en el *Journal of Chemical Education* sobre propuestas del empleo de IA en la educación de la química para aspectos como: laboratorios, actividades en el aula, preparación de materiales educativos, resolución de problemas en clase, ayuda para la redacción de informes de laboratorio, entornos de evaluación, razonamiento sobre mecanismos de reacción, y aspectos éticos.⁶ Hay trabajos en los que se señalan tanto las oportunidades como las limitaciones de la utilización de la IA para el aprendizaje de la química,⁷ y otros en los que se recoge una revisión bibliográfica de lo publicado hasta la fecha.⁸

Por otra parte, el análisis DAFO (SWOT, por sus siglas en inglés) empleado en el análisis que aborda este artículo es una herramienta de gestión que facilita el proceso de planeación estratégica, proporcionando la información necesaria para la implementación de acciones y medidas correctivas, y para el desarrollo de proyectos de mejora.^{9,10}

DAFO del uso de la IA en la enseñanza-aprendizaje de la química

A continuación, se presenta un análisis DAFO esquemático del uso de la IA en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química en las diferentes etapas educativas. Está elaborado desde una perspectiva pedagógica, tecnológica y disciplinar.

Fortalezas (internas, positivas)

- Personalización del aprendizaje. La IA permite adaptar explicaciones, ejemplos y ejercicios al nivel del estudiante, ajustando la complejidad conceptual (p. ej., modelos de partículas en E. Primaria, estequiometría en ESO u orbitales en Bachillerato).
- Acceso a simulaciones y visualizaciones avanzadas (modelos moleculares interactivos, simuladores de reacciones, animaciones de procesos microscópicos), de especial interés para abordar conceptos abstractos sobre enlace, cinética, equilibrio o termodinámica.
- Retroalimentación inmediata. Los estudiantes pueden saber en tiempo real si sus cálculos, fórmulas o razonamientos son correctos y recibir pistas sin tener que esperar al profesor.
- Acompañamiento fuera del aula. La IA puede servir como tutor “24/7” que refuerza, practica y explica, siendo especialmente útil en cursos con contenidos especialmente densos.
- Apoyo al profesorado contribuyendo a la automatización de tareas repetitivas (corrección, generación de ejercicios, rúbricas...), liberando tiempo para la planificación didáctica y el acompañamiento del alumnado.
- Inclusión educativa, al facilitar la adaptación para estudiantes con necesidades educativas especiales (adaptaciones curriculares y metodológicas, simplificación del lenguaje, refuerzo visual, instrucciones escalonadas...).

Debilidades (internas, negativas)

- Dependencia excesiva de los estudiantes, con el riesgo de que la IA haga los ejercicios por ellos, dificultando la adquisición real de habilidades de cálculo, razonamiento químico y trabajo de laboratorio.
- Limitaciones en la comprensión del contexto de laboratorio. Aunque puede explicar procedimientos, la IA no sustituye la manipulación real ni la comprensión sensorial y experimental.
- Errores o respuestas no verificadas. Algunas herramientas de IA pueden generar explicaciones incorrectas o simplificar en exceso conceptos químicos complejos.
- Necesidad de formación docente. Sin capacitación adecuada, muchos profesores pueden no integrar medios de IA de manera efectiva o segura.
- Sesgos y falta de contextualización. La IA puede no entender completamente el currículo local ni las necesidades específicas del grupo/clase.

Oportunidades (externas, positivas)

- Mejora de la motivación y el interés. La IA permite experiencias inmersivas y gamificadas que aumentan la curiosidad, lo cual es especialmente importante en edades tempranas.

- Laboratorios virtuales seguros y económicos. En centros con pocos recursos, la IA y la simulación ofrecen prácticas virtuales de reacciones peligrosas o costosas.
- Aprendizaje interdisciplinar, permitiendo la conexión de la química con la física, biología, informática y matemáticas mediante proyectos STEAM apoyados por IA.
- Detección temprana de dificultades de aprendizaje. Sistemas analíticos pueden identificar patrones en errores y sugerir intervenciones personalizadas.
- Impulso a las competencias digitales y científicas. Preparación del alumnado para entornos profesionales donde la IA ya es habitual (modelización molecular, análisis espectroscópico, industria química, etc).
- Acceso equitativo a recursos educativos avanzados. Estudiantes de zonas rurales o centros con menos equipamiento pueden acceder a contenidos y visualizaciones de alta calidad.

Amenazas (externas, negativas)

- Brecha digital y desigualdad. No todos los centros o familias tienen la tecnología necesaria para el empleo de la IA.
- Sustitución parcial del rol docente. Riesgo de que administraciones o instituciones quieran sustituir la figura del profesor por sistemas automatizados.
- Falta de regulación y privacidad. El uso de IA implica manejo de datos que requieren protección y marcos normativos claros.
- Superficialidad del aprendizaje. La facilidad de obtener respuestas puede llevar a un enfoque memorístico o dependiente, sin análisis ni pensamiento crítico.
- Comercialización del proceso educativo. Soluciones de IA controladas por grandes empresas pueden condicionar métodos, materiales y currículos.
- Desactualización rápida de contenidos. La tecnología avanza más rápido que las guías pedagógicas y los libros de texto, generando una tensión constante en el profesorado.

Según lo anterior, se puede extraer la conclusión de que el empleo de la IA en la enseñanza de la química presenta alto potencial pedagógico, especialmente para visualizar lo invisible, personalizar el aprendizaje y facilitar la comprensión de conceptos abstractos, pero requiere un uso crítico, ético y guiado por docentes. Su éxito depende de la formación del profesorado, la integración curricular y la garantía de equidad.

Algunas recomendaciones para docentes

Amable lector, ahora, te comunico lo que quizá pueda, o no, resultarte una sorpresa: el contenido del apartado anterior lo ha generado (con leves correcciones léxicas y terminológicas del autor del artículo y del editor del boletín), la herramienta de IA ChatGPT (versión gratuita), entre febrero y junio de 2026, respondiendo a esta pregunta: *«¿me podrías comentar cuáles son, a tu juicio, las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del empleo de la Inteligencia artificial para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química en las distintas etapas educativas?»*. Al final de su respuesta, ChatGPT indicaba: *“Si quieres, puedo desarrollar: un cuadro DAFO resumido, ejemplos prácticos por etapa educativa, recomendaciones para docentes, o propuestas de actividades usando IA”*.

En cuanto a las recomendaciones para docentes de química, ChatGPT sugirió lo siguiente:

- 1. Integrar la IA como complemento, no sustituto.** Utilizarla para apoyar la explicación, no para reemplazar la interacción profesor-estudiante. Combinar IA con experimentación real siempre que sea posible.
 - 2. Enseñar pensamiento crítico sobre la IA.** Explicar a los estudiantes cómo verificar respuestas químicas generadas por IA (ajustar ecuaciones, comprobar cálculos, contrastar modelos). Fomentar que revisen recursos adicionales.
 - 3. Empezar con herramientas sencillas y de alto impacto.** Ejemplos: Simuladores moleculares (MolView, PhET). Asistentes de resolución de problemas. Generadores de ejercicios o cuestionarios.
 - 4. Diseñar actividades donde la IA ayude, pero no haga el trabajo.** Ideas: “Explica y corrige”: el estudiante pide una respuesta a la IA, la analiza y corrige. “Doble solución”: resolver un problema y compararlo con el resultado de la IA. “IA como laboratorio preliminar”: simular una reacción y luego reproducirla en el laboratorio real.
 - 5. Supervisar y guiar el uso.** Establecer reglas claras sobre cuándo es adecuado usar IA (por ejemplo, no para tareas evaluables sin supervisión). Promover el uso responsable y ético de la tecnología.
 - 6. Usar la IA para diferenciación y diversificación.** Para alumnos con dificultades: simplificaciones, explicaciones paso a paso, apoyos visuales. Para alumnado avanzado: retos, ampliaciones, problemas complejos.
 - 7. Explorar la IA para optimizar la docencia.** Crear rúbricas, secuencias didácticas, bancos de ejercicios. Transformar textos a distinto nivel cognitivo (Bloom), generar analogías o materiales personalizados.
 - 8. Revisar la privacidad y seguridad.**
- Usar herramientas institucionales o con garantías de protección de datos. Comprobar las políticas de uso de cada aplicación.
- 9. Mantener formación continua.** Asistir a cursos, talleres o formaciones sobre IA educativa y química. Compartir experiencias con otros docentes para aprender buenas prácticas.

Una vez más, la herramienta propuso, al final, otra sugerencia: *“Si quieres, también puedo preparar: un plan de integración de IA para un curso de química, ejemplos de actividades listas para usar, una rúbrica para evaluar el uso de la IA por parte del alumnado, o incluso una presentación sobre el DAFO para exponer en un claustro o conferencia. ¿Quieres alguno de estos materiales?”*. El

autor de este trabajo decidió no profundizar más en el diálogo, pero sí pidió “una figura que recoja todo lo aportado en esta interesante conversación”. La imagen generada se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Resumen gráfico del análisis DAFO realizado. Fuente: Aplicación ChatGPT bajo las indicaciones del autor.

Resumen y conclusiones

Se ha presentado un ejemplo de utilización de la herramienta de IA ChatGPT (versión gratuita) que demuestran cómo puede ser de utilidad para facilitar —especialmente por optimización del tiempo y amplitud de datos a analizar— la discusión de temas didácticos. Se destaca que la propia IA sugiere que su uso conlleva debilidades y amenazas lo que indica que está sujeta a cierta autocritica. No obstante, se recomienda supervisar con cuidado sus resultados: en ocasiones concluye con auténticos disparates o aporta información “inventada”. Por ahora, parece desenvolverse con mayor facilidad en la consecución de objetivos de aprendizaje de bajo orden que los de alto orden, según la taxonomía de Bloom. Por ello, resulta imprescindible un análisis detallado y una lectura crítica de sus aportaciones. Como cualquier otra herramienta educativa, la IA tiene sus ventajas e inconvenientes —como se ha recogido en este trabajo—; su efectividad dependerá el uso concreto que hagan de ella tanto el profesorado como el alumnado. Sucedió hace siglos con el libro —cuando la invención de la imprenta facilitó su difusión—; después con la radio y la televisión; y, más recientemente, con el ordenador e internet. En sus inicios, todas estas herramientas fueron percibidas como una amenaza al sistema educativo imperante; con el tiempo, se han valorado como facilitadores esenciales del proceso de enseñanza-aprendizaje, siempre que se empleen con una orientación pedagógica adecuada. Y en ello, la labor de los docentes es, y seguirá siendo, esencial.

Bibliografía

1. Zhai, X., *et al.* (2021). A Review of AI in education from 2010 to 2020. *Complexity*, 2021(1), p. 8812542.
2. Tahiru, F. (2021). AI in education: A systematic literature review. *Journal of Cases on Information Tech.*, 23(1), pp. 1-20.
3. Nguyen, N. D. (2023). Exploring the role of AI in education. *London Journal of Social Sciences*, 6, pp. 84-95.
4. Selwyn, N. (2024). On the limits of AI in education. *Nordisk tidsskrift for pedagogikk og kritikk*, 10(1), pp. 3-14.
5. Selwyn, N. (2022). The future of AI and education: Some cautionary notes. *European Journal of Ed.*, 57(4), pp. 620-631.
6. Yuriev, E.; Wink, D. J.; Holme, T. A. (2024). The dawn of generative artificial intelligence in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 101(8), pp. 2957-2959.
7. Iyamuremye, A., *et al.* (2024). Utilization of artificial intelligence and machine learning in chemistry education: a critical review. *Discover Education*, 3(1), p. 95.
8. Erümit, A. K.; Sarılioğlu, R. O. (2025). Artificial intelligence in science and chemistry education: a systematic review. *Discover Education*, 4(1), 178.
9. Díaz Olvera, A. P.; Matamoros Hernández, I. B. (2011). El análisis DAFO y los objetivos estratégicos. *Contribuciones a la Economía*, 9(1), p. 36.
10. Sammut-Bonnici, T.; Galea, D. (2015). SWOT analysis. *Wiley Encyclopedia of management*, 12(1), pp.1-8.

Gabriel Pinto Cañón

E.T.S. de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid
gabriel.pinto@upm.es

El Principio de Construcción: Una alternativa al Principio de Aufbau para la enseñanza de las configuraciones electrónicas · Mario Rodríguez Peña

El principio de Aufbau (o diagrama de Moeller) es una regla que permite predecir la configuración electrónica de la mayoría de los elementos. Sin embargo, presenta dos limitaciones importantes:

- Falla en el orden energético: En los metales de transición, el subnivel s se ioniza antes que el d porque tiene mayor energía. Sin embargo, el diagrama de Moeller los llena en el orden contrario, lo que genera confusión sobre el orden correcto de la configuración electrónica.
- Numerosas “anomalías”: Existen 20 configuraciones consideradas “anómalas” (como las de Cr, Cu o Nb), que suelen presentarse como excepciones que deben memorizarse, en lugar de interpretarse como consecuencia de leyes físicas subyacentes.

El Principio de Construcción¹ surge para integrar estas discrepancias en un único marco predictivo. No sólo identifica correctamente el orden del electrón diferenciador, sino que también reproduce el orden real de las energías de los subniveles, reduciendo las excepciones únicamente a dos elementos químicos.

El Principio de Construcción

Este principio propone una construcción ortogonal (de izquierda a derecha). La clave consiste en distinguir entre el orden de llenado del electrón diferenciador y el orden energético de los subniveles.

- Orden de los electrones diferenciadores: Cada dos periodos aparece un subnivel nuevo (Figura 1)

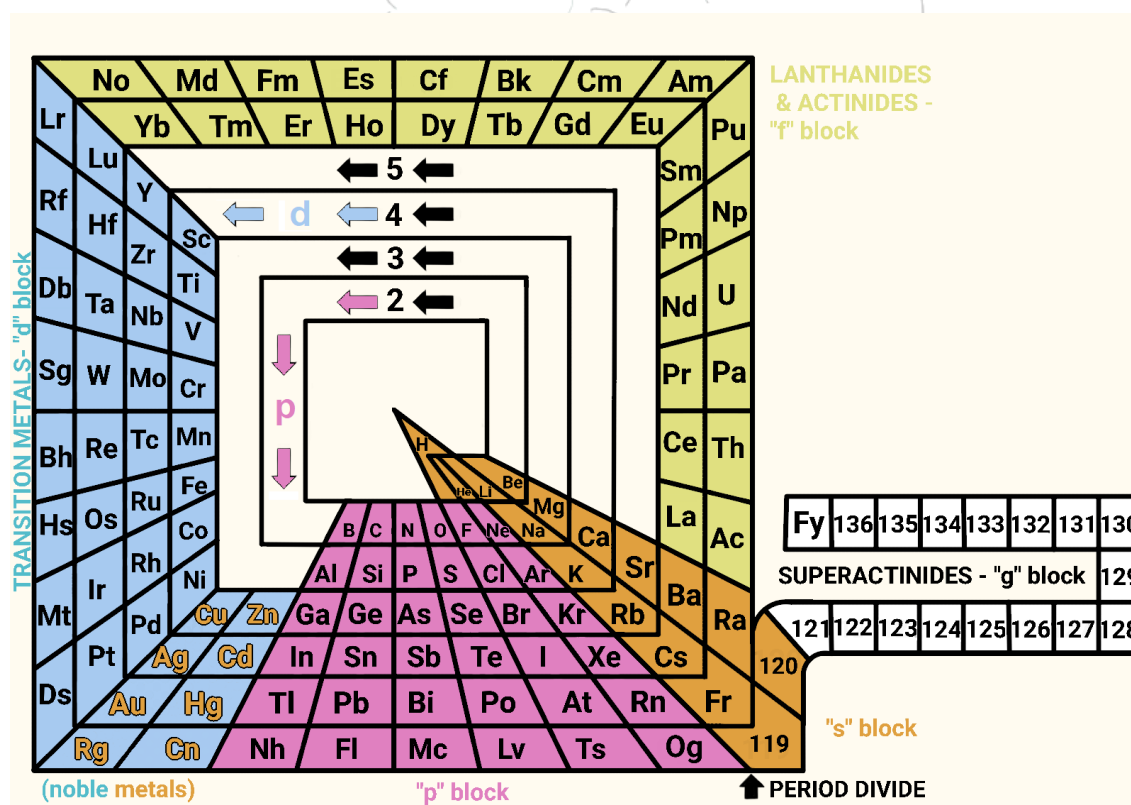


Figura 1. Espiral periódica, una representación alternativa de la tabla periódica, en la que se muestra la aparición de nuevos subniveles al aumentar el periodo, dando lugar a los bloques correspondientes. Fuente: Adaptado de Rodríguez Peña y García Guerra (2024)²

En cada periodo, los primeros electrones diferenciadores ocupan siempre el subnivel s y, a continuación, se llenan los subniveles restantes de izquierda a derecha:

- Periodo 1: Se inicia con 1s.
- Periodos 2 y 3: Aparece el subnivel p: 2s 2p
- Periodos 4 y 5: Aparece el subnivel d. Al pertenecer a n-1, se coloca a la izquierda del subnivel s: 3d 4s 4p.
- Periodos 6 y 7: Aparece el subnivel (n-2)f, que se coloca a la izquierda del (n-1)d: 4f 5d 6s 6p

En el periodo 7 se produce una estabilización relativista del subnivel s, que intercambia la posición de los subniveles 7s y 6d.

1s	
2s	2p
3s	3p
3d	4s
4d	5s
4f	5d
5f	6d
	7s
	7p

- b. Orden energético de los subniveles (configuración final): Una vez completada la construcción, la configuración real se obtiene simplemente leyendo los subniveles de izquierda a derecha. Por ejemplo, en el lutecio el llenado comienza por 6s, pero la configuración electrónica real es $[\text{Xe}]4f^{14} 5d^1 6s^2$.

Las dos reglas especiales de llenado

Para que el modelo sea totalmente predictivo, se incorporan dos reglas que explican por qué, en determinadas situaciones, los electrones ocupan un subnivel distinto del esperado.

- a. Regla 1: Ocupación de subniveles más grandes por repulsión intraorbital al inicio de los bloques d y f

Al comienzo de estos bloques, los subniveles adyacentes tienen energías muy próximas, por lo que los electrones prefieren ocupar subniveles más grandes y difusos para minimizar la repulsión intraorbital.

- En el bloque d: aparecen las configuraciones $d^{n+1}s^1$ tras $3d^8$, $5d^8$ y $4d^3$ (con la configuración del Pd $d^{10}s^0$), así como la ocupación inicial del subnivel 7p en Lr.

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn

- En el bloque f: aparece la configuración $f^{n-1}d^1$ antes de $4f^2$ y $5f^5$, con la configuración del Th f^0d^2 . Esto explica por qué La y Ac ocupan un electrón en d antes que en f y pueden considerarse el inicio "anómalo" del bloque f.

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	No	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

Como regla mnemotécnica, a partir del periodo 5 el orden energético de los subniveles prevalece sobre la repulsión intraorbital en las configuraciones $d^{n+1}s^1$ y f^n cuando la relación $Z/\text{electrones de valencia} \approx 4$, siendo l el número cuántico azimutal ($d=2$ y $f=3$): Nb ($41/5 \approx 8$), Pt ($78/10 \approx 8$), Pr ($59/5 \approx 12$) y Pu ($94/8 \approx 12$).

- b. Regla 2: Estabilización de subniveles semillenos

La estabilidad asociada a un subnivel semilleno, debida a la máxima multiplicidad de espín, modifica el orden de llenado obtenido anteriormente.

- En el bloque d: se favorecen las configuraciones d^5s^1 o d^5s^2 , antes de la estabilización relativista del subnivel s a partir del periodo 6.

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn

- En el bloque f: la configuración f^7d^1 siempre resulta más estable que f^8 (Gd y Cm).

Conclusiones

La aplicación del Principio de Construcción junto con sus dos reglas reduce las anomalías a solo dos elementos químicos: el paladio (Pd) y el torio (Th). De este modo, se obtiene una interpretación más coherente de las configuraciones electrónicas, evitando la memorización de numerosas excepciones y proporcionando un principio sólido para predecir las configuraciones electrónicas, base de la clasificación periódica, y el orden de ionización.

Bibliografía:

1. Rodríguez Peña, M. (2026). The *Construcción* principle: the improved *Aufbau* principle with 2 special filling rules. *Foundations of Chemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10698-026-09567-3>
2. Rodríguez Peña, M. y García Guerra, J. A. (2024). The periodic spiral of elements. *Foundations of Chemistry*, 26, pp. 315–321 y el artículo divulgativo *La espiral periódica: una reforma de la tabla periódica*. *DCiencia* (Mario Rodríguez Peña): <https://www.dciencia.es/la-espiral-periodica-una-reforma-de-la-tabla-periodica/>



Mario Rodríguez Peña
Universidad Alfonso X
maripena@uax.es

Actitudes y opiniones de los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Extremadura ante el cambio climático · José Manuel Vaquero, Francisco Javier Acero, Manuel Antón, Alejandro Jesús Pérez Aparicio, Víctor Manuel Sánchez Carrasco, María de la Cruz Gallego y Javier Vaquero Martínez

El cambio climático constituye uno de los mayores desafíos ambientales, sociales y económicos a los que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI. Sus consecuencias, cada vez más evidentes, abarcan desde el aumento de la temperatura global y la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos hasta alteraciones profundas en los ecosistemas y en los sistemas socioeconómicos. Con el objetivo de evaluar de manera rigurosa y periódica el estado del conocimiento científico sobre este fenómeno, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial estableció en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Desde entonces, el IPCC se ha consolidado como la autoridad científica internacional en materia de cambio climático, proporcionando evaluaciones integradas que sirven como referencia para la toma de decisiones a escala global.

El informe más reciente del IPCC, el Sexto Informe de Evaluación (AR6), publicado entre 2021 y 2022, sintetiza el conocimiento disponible aportado por miles de investigadores de todo el mundo.¹ Este informe reafirma con un nivel de certeza sin precedentes que el calentamiento global observado desde mediados del siglo XX es consecuencia inequívoca de las actividades humanas, especialmente de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, el AR6 subraya que muchos de los cambios actuales en el sistema climático no tienen precedentes en miles de años y que los plazos temporales para evitar impactos severos se están acortando rápidamente. Además, el AR6 destaca la necesidad de combinar la mitigación del calentamiento global (reducción de emisiones de GEI y aumento de los sumideros que los absorben) con la adaptación a los cambios ya inevitables y la cooperación internacional para gestionar los riesgos crecientes asociados al clima.

En paralelo a estas evaluaciones científicas globales, numerosos estudios han abordado la relación entre el cambio climático y la sociedad,² indagando en aspectos como la percepción pública,³ el papel de la ciencia y las implicaciones sociopolíticas del fenómeno.⁴ Algunos de estos trabajos se inspiran en la visión de la climatología como una ciencia postnormal, concepto propuesto por Funtowicz y Ravetz⁵ según el cual las ciencias relacionadas con problemas complejos, inciertos y con fuertes implicaciones sociales requieren procesos de investigación y comunicación distintos a los de la ciencia tradicional.

Entre estos análisis destaca la encuesta realizada por von Storch et al.,⁶ centrada en las opiniones de estudiantes universitarios sobre el cambio climático. El estudio se desarrolló en dos contextos culturales diferentes: la Universidad Oceánica de China en Qingdao (2015–2016) y el Clúster de Excelencia en Análisis y Predicción Integrados del Sistema Climático de la Universidad de Hamburgo (2017). Las respuestas de 87 estudiantes en Qingdao y 72 en Hamburgo permitieron a los autores concluir que las diferencias de actitud en torno al papel de la ciencia, del Estado y de la sociedad civil frente al cambio climático reflejan, en gran medida, diferencias culturales entre ambos grupos. Si bien la mayoría de los encuestados en ambos casos atribuyó el cambio climático a causas antropogénicas, el porcentaje fue considerablemente mayor en Hamburgo (93 %) que en Qingdao (70 %), lo que sugiere que la percepción de la responsabilidad humana puede variar en función del contexto educativo y sociocultural.

Siguiendo esta línea de investigación, en el año 2020 se llevó a cabo una encuesta destinada a conocer las actitudes y opiniones de los estudiantes del Centro Universitario de Mérida de la Universidad de Extremadura (UEx) sobre el cambio climático utilizando el modelo de von Storch et al.⁶ Los resultados de este estudio, publicados en Vaquero et al.,⁷ permitieron ofrecer una primera aproximación al pensamiento ambiental de la comunidad estudiantil de esta institución y contribuyeron a enriquecer el debate sobre la percepción del cambio climático en contextos universitarios de España. Recientemente, hemos realizado otra encuesta similar a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UEx con el objetivo de actualizar dicha información y analizar su evolución en un periodo marcado por una mayor presencia del cambio climático en la agenda pública, educativa y mediática.

Metodología

Se aplicó el mismo cuestionario de cuatro ítems (tres de escala Likert 1–7 más uno de opción única sobre la tarea prioritaria de la comunidad científica) que fue usado por von Storch et al.⁶ y Vaquero et al.⁷ Las preguntas eran las siguientes:

- ¿El cambio climático está ocurriendo ahora mismo por causas naturales o antropogénicas? (Respuestas: 1- nada; 7- mucho).
- ¿Es el cambio climático una amenaza grave y peligrosa para la humanidad? (Respuestas: 1- en absoluto; 7- mucho).
- ¿Crees que el cambio climático reciente o futuro está causado principalmente por la acción humana? (Respuestas: 1- en absoluto; 7- mucho).
- En su opinión, ¿cuál es la tarea más importante que enfrenta la comunidad científica del clima? (Respuestas: i. definir los problemas climáticos y atribuir las causas del cambio climático; ii. aportar soluciones al cambio climático; y iii. motivar a la sociedad a actuar frente al cambio climático).

El trabajo de campo se realizó durante los días 11 y 12 de febrero de 2026 mediante enlace a una encuesta online en clase. Se utilizaron los cinco primeros minutos de la asignatura obligatoria “Métodos computacionales II” (que se imparte en los grados de Física, Matemáticas y Estadística y en el doble grado de Matemáticas-Estadística) y de la asignatura optativa “Física de la Atmósfera Avanzada” (que se imparte en el grado de Física).

La muestra válida fue de 78 estudiantes, con una edad media de 19,95 años (siendo la mediana 19, el rango 19-27 y la desviación estándar igual a 1,46). La distribución por estudios es: Física (47,4%, n=37), Matemáticas (37,2%, n=29), Estadística (7,7%, n=6), Matemáticas-Estadística (7,7%, n=6). Por último, respecto a la diferenciación por sexo/género, tenemos: Hombre (65,4%, n=51), Mujer (32,1%, n=25) y Otro (2,6%, n=2).

Resultados

Los resultados para las tres primeras preguntas se observan en la Figura 1. Las distribuciones de las respuestas numéricas son claramente asimétricas, con la mayoría de las respuestas desplazadas hacia valores altos de la escala Likert. Se observa una clara concentración en el rango 5-7, especialmente en «está ocurriendo» y «amenaza», y una distribución algo más extendida en «origen humano». Estos resultados sugieren un consenso alto, pero con mayor incertidumbre relativa en la atribución causal del cambio climático.

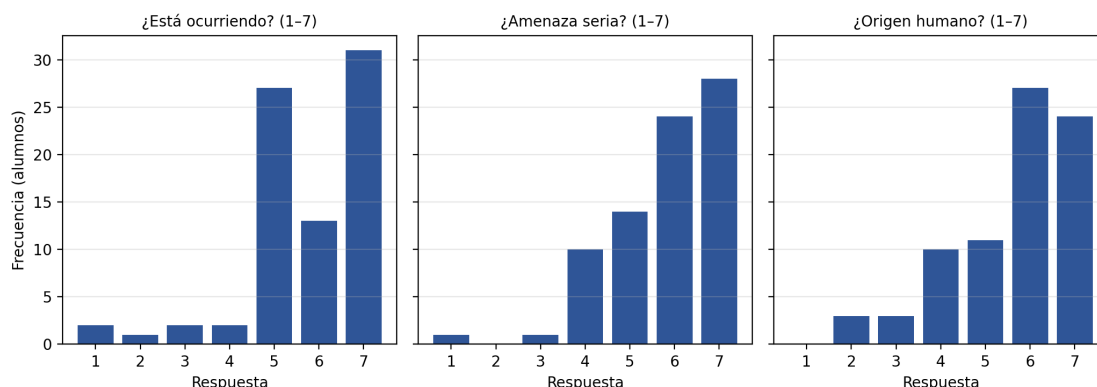


Figura 1. Distribuciones de respuestas (1-7) por pregunta: ¿está ocurriendo?, ¿amenaza seria?, ¿origen humano?

La Tabla 1 muestra varios valores estadísticos de interés. Las medias de las respuestas están próximas a 6 y la mediana es 6 para las tres preguntas. Estos resultados indican claramente que los estudiantes piensan que el cambio climático está ocurriendo, es una amenaza real y de origen humano. Sin embargo, se debe resaltar que la pregunta sobre el origen antropogénico del cambio climático es la que presenta tanto menor media, como menor porcentaje de respuestas alcanzado para los valores 5-7 y 7. Por lo tanto, se puede afirmar que esta cuestión es la que más dudas genera entre los estudiantes. Además, las respuestas muestran correlaciones moderadas y coherentes entre sí: Pregunta 1- Pregunta 2 ($r=0,658$), Pregunta 1- Pregunta 3 ($r=0,603$), Pregunta 2- Pregunta 3 ($r=0,571$). Así, quienes afirman que el cambio climático está ocurriendo tienden a verlo como más amenazante y a atribuirlo a causas antropogénicas.

Pregunta	Media	Mediana	DE	% (5-7)	% (7)	N
¿Está ocurriendo?	5.74	6.00	1.37	91.0%	39.7%	78
¿Amenaza seria?	5.82	6.00	1.21	84.6%	35.9%	78
¿Origen humano?	5.64	6.00	1.35	79.5%	30.8%	78

Tabla 1. Resultados de las respuestas a las tres primeras preguntas de la encuesta. Se listan, para cada pregunta, la media, la mediana, la desviación estándar, el porcentaje de respuestas (5-7), el porcentaje de respuestas (7) y el número de respuestas.

En la segunda parte de la encuesta, preguntábamos a los estudiantes sobre la tarea más importante que enfrenta la comunidad científica del clima. Los resultados se presentan en la Tabla 2. Los estudiantes consultados de la Facultad de Ciencias creen que la principal tarea que debe abordar la comunidad científica que estudia el clima es motivar a las personas a actuar sobre el cambio climático (48,7 %). Otra parte significativa considera que la tarea más importante para los científicos es proporcionar soluciones sobre el cambio climático (39,7 %). Por último, el 11,5 % de los participantes responden que los científicos deben definir los problemas sobre el cambio climático y atribuir causas.

Opción	n	%
Motivar a las personas a actuar sobre el cambio climático.	38	48.7%
Determinar soluciones al cambio climático.	31	39.7%
Definir los problemas climáticos y encontrar la causa del cambio climático.	9	11.5%

Tabla 2. Número de respuestas y porcentaje respecto al total referidas a la última pregunta de la encuesta sobre la tarea más importante que enfrenta la comunidad científica del clima.

A continuación, se procede a comparar los resultados obtenidos en esta encuesta con la realizada a los estudiantes del Centro Universitario de Mérida de la UEx en 2020 (las preguntas fueron las mismas). La Tabla 3 muestra los porcentajes de respuestas a los valores más altos de la escala Likert (5-7 y 7) de las tres primeras preguntas para facilitar su comparación. Tanto en la pregunta sobre la ocurrencia del cambio climático como en las preguntas sobre su carácter de amenaza y origen humanos, los porcentajes son siempre menores en la encuesta de 2026. Si en el año 2020 más de la mitad de los estudiantes de la UEx respondían con un valor 7 (el más alto) a la pregunta del origen antrópico del cambio climático, actualmente menos de un tercio de los estudiantes de la UEx responden otorgando este valor máximo.

Indicador	2020 (5-7)	2026 (5-7)	2020 (7)	2026 (7)
Está ocurriendo	96.0%	91.0%	65.0%	39.7%
Amenaza seria	96.0%	84.6%	70.0%	35.9%
Origen humano	96.0%	79.5%	54.0%	30.8%

Tabla 3. Comparación de algunos valores entre las encuestas efectuadas en 2020 y 2026.

Respecto a la prioridad de las tareas que debe realizar la comunidad científica, en la Tabla 4 se muestra el porcentaje sobre el total de las respuestas a las encuestas realizadas en el año 2020 y 2026 en la UEx. Aunque el orden de las opciones no cambia si tenemos en cuenta el porcentaje de respuestas, detectamos algunos cambios dignos de mencionar. Las respuestas que eligen la opción de “motivar a las personas a actuar” sufre una caída que supone un aumento de las respuestas a la opción “determinar soluciones” y, sobre todo, un notable aumento de las repuestas a la opción sobre la definición y atribución del cambio climático. Por lo tanto, aunque los resultados muestran la creencia general de que los problemas ya están identificados por los científicos y que también deben ser parte activa en las soluciones y la motivación de las personas, hay una notable disminución de estudiantes que piensan así respecto a la encuesta realizada en el año 2020.

Opción	2020	2026
Motivar a las personas a actuar	56.0%	48.7%
Determinar soluciones	38.0%	39.7%
Definir/atribuir	6.0%	11.5%

Tabla 4. Porcentaje sobre el total de las respuestas a las encuestas realizadas en el año 2020 y 2026.

Los resultados confirman un consenso elevado en torno a la realidad y peligrosidad del cambio climático entre estudiantes de ciencias, con una ligera atenuación en la convicción máxima respecto a 2020. La mayor demanda de soluciones concuerda con los que desean ir “más allá del diagnóstico”, reclamando herramientas aplicables (mitigación, adaptación, economía circular, etc.). El patrón por titulaciones (con medias más altas en la titulación del grado en Física) podría reflejar exposición curricular diferencial a contenidos climáticos y a metodologías de evidencias instrumentales/modelización. En cualquier caso, la interpretación causal debe hacerse con prudencia por el reducido tamaño de la muestra. El alumnado de la Facultad de Ciencias de la UEx reconoce mayoritariamente que el cambio climático está ocurriendo, que supone una amenaza seria y que su origen es principalmente humano. La prioridad “motivar a la acción” se mantiene en primer lugar, con un peso creciente de la demanda de “soluciones”. Aunque las diferencias con las respuestas dada a la misma encuesta realizada a estudiantes del Centro Universitario de Mérida de la UEx en el año 2020 podrían deberse a la composición y las limitaciones de la muestra, no podemos despreciar el crecimiento de movimientos negacionistas en los últimos años en los países occidentales⁸ (y en España en particular⁹). Sea como fuere, recomendamos reforzar las actividades docentes que conecten evidencia y acción (mitigación y adaptación), consolidando así el vínculo entre motivación y soluciones.

Bibliografía

- IPCC (2023). Cambio Climático 2023: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción central, H. Lee y J. Romero (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 35-115 pp. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- Bray, D., von Storch, H. (1999). Climate Science: An Empirical Example of Postnormal Science. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80, pp. 439-455.
- Yu, H., Wang, B., Zhang, Y.-J., et al. (2013). Public perception of climate change in China: results from the questionnaire survey. *Nat. Hazards* 69, 459-472.
- Bray, D., von Storch, H. (2016). The Bray and von Storch 5th international survey of climate scientists 2015/2016. *HZG Report* 2016-2.
- Funtowicz, S. O., and Ravetz, J. R., (1993). Science for the Post-Normal Age. *Futures*, 25(7), pp. 739-755.
- von Storch, H., Chen, X.E., Pfau-Effinger, B., Bray, D., Ullmann, A. (2019). Attitudes of young scholars in Qingdao and Hamburg about climate change and climate policy - The role of culture for the explanation of differences. *Advances in Climate Change Research* 10, pp. 158-164.
- Vaquero, J.M., Carrasco, V.M.S., Vaquero-Martínez, J., & Gallego, M.C. (2021). Attitudes of university students from Mérida (Spain) to the challenge of climate change, *Atmósfera* <https://doi.org/10.20937/ATM.53045>

8. Mann, M., Hotez, P., 2025. *Science under Siege*. New York, USA. Scribe Publications.

9. Baldasano, J.M., 2025. *Dos grados no son para tanto. Una historia del negacionismo climático*. Madrid. Cátedra.

		José Manuel Vaquero Departamento de Física Universidad de Extremadura jvaquero@unex.es
Francisco Javier Acero Departamento de Física Universidad de Extremadura fjacero@unex.es	Manuel Antón Departamento de Física Universidad de Extremadura mananton@unex.es	Alejandro Jesús Pérez Aparicio Departamento de Física Universidad de Extremadura ajpa@unex.es
Víctor Manuel Sánchez Carrasco Departamento de Física Universidad de Extremadura vmcarrasco@unex.es	María de la Cruz Gallego Departamento de Física Universidad de Extremadura maricruz@unex.es	Javier Vaquero Martínez Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales Universidad de Extremadura javier_vm@unex.es



Destacando la E de STEM: Ingenieros y desarrollos sociales, científicos y tecnológicos muy conocidos: El proyecto *Engineers & STEM* · Ana Pavani, Fátima E. M'Hamdi Alaoui, Natalia Muñoz Rujas, Jennifer Baptiste y Eduardo Montero

Presentamos aquí un proyecto que tiene como objetivo contribuir a una mejor comprensión de la contribución de la ingeniería (E de *Engineering*) a las disciplinas STEM a nivel global, destacando el papel de la contribución del ingeniero en desarrollos sociales, científicos y tecnológicos muy conocidos. STEM es el acrónimo, en inglés, de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). STEM es una iniciativa educativa reciente que trata de fomentar las enseñanzas científicas y técnicas para paliar el descenso de vocaciones de este tipo entre los jóvenes estudiantes de hoy. El proyecto *Engineers & STEM* tiene como objetivo ampliar la difusión pública y educativa del rol de los ingenieros como actores principales de muchas mejoras sociales conocidas. La ingeniería no es una actividad aislada hecha por personalidades solitarias, sino una actividad social enmarcada en el contexto cultural y económico de cada época. Nuestro objetivo es destacar la E de STEM dentro del marco del acceso libre y el enfoque multicultural en el marco de la base conceptual de la propuesta relativa a las habilidades de ingeniería dentro del marco STEM desarrollada por Simarro y Couso.¹

El proyecto *Engineers & STEM* cuenta con el apoyo de MERLOT (*Multimedia Education Resource for Learning and Online Teaching*), un repositorio en línea donde sus socios y miembros se dedican a identificar, revisar por pares, organizar y poner a disposición universal recursos de aprendizaje online existentes en diversas disciplinas académicas para su uso por parte del profesorado y de los estudiantes en un amplio rango de niveles educativos que va desde la enseñanza primaria a la universitaria y profesional.² Promovido y apoyado por el centro *California State University Center for Distributed Learning* desde 1997, es un consorcio internacional de instituciones y sistemas de educación superior, socios industriales, organizaciones profesionales e individuos. MERLOT es una comunidad de universitarios, voluntarios y educadores que trabajan juntos para ofrecer a los usuarios materiales didácticos y de aprendizaje en abierto (*Open Educational Resources*), así como una gran variedad de servicios y funciones que pueden mejorar su experiencia docente. Una de las características principales de MERLOT es que todos los materiales del repositorio estén disponibles de forma gratuita. Por otro lado, MERLOT ofrece a sus socios la herramienta *Content Builder*, un editor web proporcionado gratuitamente. Así, se cumple el requisito de acceso libre y libre de nuestro proyecto.

En cuanto a la multiculturalidad del proyecto *Engineers & STEM*, se obtiene mediante dos enfoques: la diversidad de culturas de los autores y la diversidad de culturas de los materiales producidos. En cuanto a los autores, los colaboradores cumplen tres criterios: son hablantes nativos del idioma que aportan, conocen la disciplina de la educación en ingeniería y tienen experiencia personal en el sistema educativo que utiliza oficialmente el idioma bajo contribución. Así, los autores del proyecto, miembros del *Engineering Board* de MERLOT, son hablantes nativos de español, portugués, inglés y francés, son ingenieros/as en diversas disciplinas de la ingeniería y son profesores/as activos en sus respectivos países en Europa, América y África.

El producto principal del proyecto es la página web, que contiene todos los materiales y recursos del proyecto, como se muestra en la Figura 1.³ Los vídeos incluidos en la web están consignados en la lista de reproducción de YouTube de la Universidad de Burgos y también están disponibles como productos independientes en este canal.⁴ Todos los materiales y la web están bajo licencia *Creative Commons*, son no comerciales y pueden ser compartidos. Toda la música, imágenes y vídeos utilizados son de autoría de los editores, libres de derechos de autor u obtenidos estos bajo el permiso de los titulares de los derechos de autor para fines educativos.

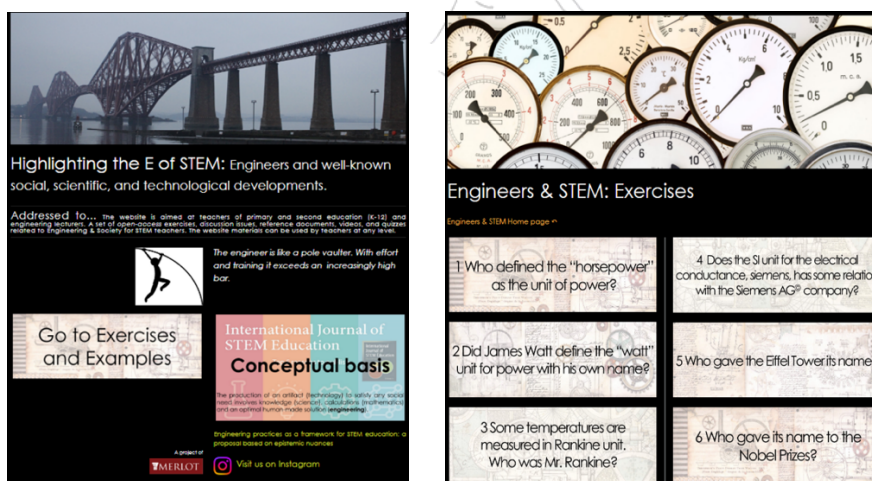


Figura 1. A la izquierda, la página de inicio de *Engineers & STEM* con los principales temas del proyecto. A la derecha, la lista de algunos casos de estudio disponibles al hacer clic en Ir a Ejercicios y Ejemplos. Fuente: Elaboración propia.

Algunos ejemplos de interés para el profesorado

Como ejemplo descriptivo del proyecto, la Figura 2 muestra el contenido del primer caso de estudio: *¿Quién definió el “caballo de vapor” como la unidad de potencia?* En la esquina superior izquierda podemos encontrar la descripción del ejemplo. Este texto tiene como objetivo proporcionar al profesor o al estudiante el contexto de los hechos sociales, científicos y tecnológicos conocidos. En este caso es el uso frecuente de la palabra “caballo de vapor” para proporcionar información sobre la potencia de cualquier dispositivo. En la esquina inferior izquierda encontramos un ejemplo de esto, los “caballos de vapor” del motor de un automóvil. En la columna central, podemos ver la lista de preguntas sugeridas que el profesor puede usar con sus alumnos para dinamizar un debate o asignar deberes, por ejemplo. En la esquina superior derecha encontramos el enlace al vídeo corto editado por los autores que da la respuesta breve a la pregunta propuesta: ¿quién definió el “caballo de vapor” como la unidad de potencia? En la esquina inferior derecha encontramos una lista de enlaces con direcciones web adicionales de fuentes externas de información sobre el caso. Y, finalmente, en la columna inferior central, tenemos el enlace o acceso QR a un cuestionario de autoevaluación, útil cuando el sitio se utiliza para autoaprendizaje.

Questions for open discussion

- What does "horsepower" mean in relation to engine power?
- Why is the mixture of two words, "horse" and "power," used for this term?
- What does a horse have to do with the power of a car?
- For what purpose was this concept of engine power named as "horsepower"?
- The denomination of "horsepower", in what year was it made?
- To whom is this definition attributed, to a person or to an institution?
- How the "horsepower" of our car is related to the payment of taxes?
- Which is the unit of power in the International System of Units?
- Which is the difference between the mechanical horsepower (or imperial horsepower), and the metric horsepower?

Exercise

When we check a brochure of a car, one of the most relevant characteristics, which influences the decision to acquire the vehicle, is the power of the engine. We see, as in the examples shown, that the power of the engine is expressed in horsepower, with the symbol hp.

Questionnaire for self-assessment

More...

- Wikipedia: horsepower definition
- James Watt biography (I)
- James Watt biography (II)
- Video James Watt and the steam engine
- From horsepower to carpower: taxes
- Research paper: How much horsepower one horse can actually produce?

Figura 2. El contenido del primer estudio de caso: *¿Quién definió el “caballo de vapor” como la unidad de potencia?*

Fuente: Elaboración propia.

¿Cómo puede un profesor usar esta página web? Tomemos un ejemplo. Imaginemos que un profesor de Física está explicando las unidades del Sistema Internacional a sus alumnos. Como alternativa a listar unidades con sus nombres, símbolos y abreviaturas, puede usar el caso 2 del proyecto *Engineers & STEM*, *¿James Watt definió la unidad de potencia con su propio nombre?* En la lista de preguntas para discusión abierta, la primera es: ¿Cuál es el origen del nombre *watt* como unidad de potencia? Muy posiblemente, los estudiantes usarán Internet para encontrar esta primera respuesta, descubriendo que no fue James Watt quien nombró la unidad watio o *watt*, sino el ingeniero alemán Carl W. Siemens. El objetivo de esta pregunta es captar la atención del estudiante desde el primer momento. Las siguientes preguntas: ¿por qué hay tantas unidades científicas con nombres de personas? y ¿por qué algunas unidades se escriben en minúsculas y otras en mayúsculas? tienen por objeto facilitar que el estudiante entienda que el Sistema Internacional no es un sistema ajeno a la actividad social cotidiana, ni convierte a un científico o ingeniero en una persona aislada, fuera de la sociedad, sino que es un sistema organizado de ciencia-ingeniería-sociedad.

La última pregunta, ¿qué institución es responsable de la definición de unidades hoy en día? conduce al estudiante al conocimiento de la institución que la sociedad internacional ha organizado para regular este sistema de unidades dentro del sistema mundial de ciencia-tecnología-comercio, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (*Bureau International des Poids et Mesures*, BIPM), sede del Sistema Internacional (SI) y de la escala de tiempo de referencia internacional (UTC). A continuación, mediante una propuesta de aprendizaje activo, el profesor puede introducir a sus alumnos en un aprendizaje totalmente contextualizado del tema de las unidades en Física, lo que significa una forma más profunda de aprender.

Si el profesor enseña Ciencias Sociales, podría usar el caso 6, *¿Quién dio su nombre a los Premios Nobel?* y guiar a sus alumnos, a través de una actividad activa de aprendizaje, hacia el conocimiento de otro caso de interacción ciencia-tecnología-sociedad, como el del ingeniero sueco Alfred Nobel. O también es interesante el caso 12, en el que una ingeniera tuvo una influencia decisiva en la construcción del puente de Brooklyn en Nueva York. Otros casos singulares, como Eiffel o Torres Quevedo muestran cómo los ingenieros no sólo realizaron construcciones singulares como la Torre Eiffel o el teleférico sobre el río Niágara, sino que realizaron contribuciones científicas decisivas y poco conocidas por el público e incluso por muchos educadores de las ciencias. En 1893, el ingeniero civil Eiffel, con 70 años, renunció a la dirección de la *Compagnie des Établissements Eiffel* y comenzó una carrera como investigador en aerodinámica. Su contribución en este campo es probablemente de igual o mayor importancia que su trabajo como ingeniero. Sus estudios teóricos y experimentales de aerodinámica en aviones sentaron las bases de los túneles de viento que se utilizan en la actualidad. El también ingeniero civil Torres Quevedo, tras sus destacados trabajos sobre dirigibles,

teleféricos y sistemas de control remoto, adquirió fama universal por su trabajo en «automática». Publicó importantes contribuciones internacionales sobre las máquinas algebraicas, predecesoras de las computadoras analógicas, y también sobre las máquinas aritméticas, predecesoras de las computadoras digitales modernas.

Posibles usos del proyecto *Engineers & STEM*

El profesorado puede proponer sesiones de debate abiertas o redactar informes sobre el tema. Por ejemplo, los profesores pueden evaluar si los estudiantes han progresado en sus ideas comparando sus percepciones antes y después de usar los materiales o ver los vídeos. Es el profesor quien decide cuándo y cómo utilizar los materiales disponibles para integrarlos en su plan del programa educativo: como trabajo previo antes de clase; durante la clase, para captar la atención de los estudiantes o como estudio de caso para discusión; o como recurso de estudio autónomo después de la clase. Los estudiantes pueden utilizar los materiales no solo para realizar tareas o redactar informes, sino también para autoevaluar su comprensión.

Bibliografía

1. Simarro, C., Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education* 8(53), <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>.
2. MERLOT (Multimedia Education Resource for Learning and Online Teaching), <https://www.merlot.org/merlot/>, (última consulta: 26/1/2026).
3. Engineers & STEM homepage, <https://projects.merlot.org/engineers&stem>, (última consulta: 26/1/2026).
4. University de Burgos, YouTube playlist, <https://www.youtube.com/watch?v=2sUGNJbiCS0&list=PL0ZsIINdJRdnyErnZnlHALbMN9SAjoFV>, (última consulta: 26/1/2026).

	Eduardo Montero García Universidad de Burgos emontero@ubu.es	Ana Pavani Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Brasil)
Fatima E. M'Hamdi Alaoui University Abdelmalek Essaadi (Marruecos)	Natalia Muñoz Rujas Universidad de Burgos	Jennifer Baptiste University of Trinidad and Tobago

Apuntes de Historia de la Ciencia

Más alquimia en las aulas de química · José Ramón Bertomeu Sánchez

En la actualidad la alquimia es un tema tan desconocido como fascinante. Por su largo intervalo temporal y la distancia del presente, se trata de un territorio extraño que, sin embargo, despierta el interés de un público amplio. La alquimia disfruta de una larga presencia en la cultura popular, por ejemplo, dentro de obras de literatura, desde *The Alchemist* de Ben Jonson a principios del siglo XVII a *L'oeuvre en noir* de Marguerite Yourcenar en el siglo XX. También se dispone de una gran cantidad de representaciones gráficas como, por ejemplo, las obras de la escuela flamenca de David Teniers. La espectacular variedad de grabados, emblemas y símbolos incluidos en los primeros libros alquímicos ha cautivado la imaginación de muchas personas y son frecuentemente utilizados en marcas publicitarias o en libros de sobremesa. También encontramos referencias en la música pop (solo mencionaré el famoso doble LP en directo de *Dire Straits*), el cine (desde las versiones de Harry Potter hasta el enigmático *Cronos* de Guillermo del Toro) y, más recientemente, los videojuegos (*Little Alchemy* con millones de descargas) y el manga. Entre estos últimos destaca el relato futurista de la escritora Hiromu Arakawa (*Hagane no Renkinjutsushi, Fullmetal Alchemist*) con las todavía más famosas adaptaciones animadas, videojuegos, novelas y películas. De este modo, la sombra de la alquimia inspira tecnoimaginarios sociales con diversos regímenes de temporalidad que conectan presente, pasado y futuro. Son pocas las personas que creen actualmente en las supuestas promesas de la alquimia en cuanto a la fabricación de metales preciosos o a la elaboración de medicamentos con efectos curativos extraordinarios. Aun así, la fascinación por la alquimia es empleada frecuentemente en la publicidad de productos cosméticos, perfumes, joyas y herramientas informáticas promocionadas por *Google*. Una investigación básica con la palabra «alquimia» en este buscador nos proporciona miles de páginas dedicadas, por ejemplo, a inversiones económicas lucrativas, con la promesa de transmutar en oro nuestros menguados ahorros. También podemos encontrar un hotel con aguas termales en Praga que habría deleitado al mismo emperador Rodolfo II y otros nobles que promocionaron las actividades alquímicas en la cultura cortesana de la Edad Moderna. Si nos adentramos más allá de las primeras páginas de resultados del buscador, podemos encontrar también lugares dedicados al crecimiento personal («el arte de transmutar el sufrimiento en sabiduría»), a promover asociaciones gnósticas y movimientos rosacruceanos, o a relatos de misterio como, por ejemplo, las tribulaciones imaginarias de un supuesto alquimista hindú que consiguió engañar a familiares del general Franco durante sus sanguinarios inicios como dictador.

Esta fascinación popular contrasta con la pequeña cantidad de personas que investigan el tema. Apenas no existen cursos académicos en las universidades y son pocos los centros de investigación especializada, aunque todos los años aparecen numerosas publicaciones en revistas especializadas y colecciones en editoriales de prestigio. Ya desde el siglo XIX, con un fuerte impulso en el primer tercio del siglo XX, se realizó un gran número de investigaciones históricas sobre la alquimia. Algunas de ellas fueron reseñadas por el primer editor de este boletín *Faraday*, Modesto Bargalló Ardévol (1894-1981), que comentó, por ejemplo, los estudios de Edmund von Lippman (1857-1940) y Julius Ruska (1867-1949) sobre alquimia árabe que serían fundamentales en la constitución de la *Society for the History of Alchemy and Chemistry* (SHAC), hace ahora más de 80 años. Con su inclusión en el boletín, Bargalló pretendía promover la reflexión entre el profesorado de su época acerca de las potencialidades didácticas de estas pioneras investigaciones históricas sobre la alquimia. En la actualidad, la SHAC realiza seminarios de investigación y congresos, dispone de un programa de becas para promocionar las carreras académicas y publica cada año cuatro números de la revista *Ambix* con numerosos estudios que renuevan nuestra visión de la alquimia. Por ejemplo, el primer volumen de 2024 fue dedicado a la cuestión de la producción de colores (el amarillo, particularmente interesante por razones obvias); otro anterior centrado en las amalgamas de oro y mercurio, también muy relevantes para los alquimistas, que incluye aspectos de la historia ambiental de estos productos. Y otro más reciente ha estado dedicado a la «pirotecnia», es decir, la producción de hornos y el control del fuego. Esta revista también publica con una periodicidad más larga diferentes textos clásicos, como los primeros fragmentos atribuidos a pseudo-Demócrito (editados por Matteo Martelli) o el libro de los alumbres y de las sales atribuido a pseudo-al Razi (editado por Gabrielle Ferraro) que permite adentrarse dentro de diferentes corrientes medievales de la tradición árabe y hebrea. En el número de febrero de 2026 se presentó un texto bajomedieval que se conserva en un bello pergamino del Trinity College (Cambridge).

La mayor parte de las páginas de internet y obras de divulgación sobre la alquimia no tienen en cuenta toda esta producción especializada. No es sorprendente, por lo tanto, encontrar en textos de gran difusión muchas interpretaciones desafortunadas o descartadas hace décadas. La mayoría de estas obras populares son escritas por personas, con o sin formación científica, que denigran las prácticas alquímicas, considerándolas un corpus doctrinal desarrollado alrededor de la quimera de la transmutación. Es habitual señalar esta pretensión como un ejemplo de la irracionalidad de sus autores (nigromantes, charlatanes...) o de su época (la «oscura» Edad Media). Por el contrario, los estudios más recientes han reintegrado los aspectos, digamos, «experimentales» de la alquimia, sin olvidar las diferentes interpretaciones propias de cada momento. Se han conseguido reproducir algunos de los «experimentos» alquímicos que han permitido la relectura de algunos textos originales, al mostrar que algunos símbolos alquímicos están basados en producciones del laboratorio. Con el apoyo de estas nuevas investigaciones, se ha llegado a afirmar, no sin cierto grado de provocación, que la alquimia de la Baja Edad Media y la Edad Moderna presenta notables semejanzas con la química actual, muchas más que con las tradiciones que actualmente se reclaman como alquímicas. Esta conclusión no excluye la existencia de grandes diferencias en cuanto a métodos, vocabulario, objetivos, interpretaciones y practicantes. Viajar al reino extraño de la

alquimia implica, en cierto modo, aceptar la coexistencia sin solución de continuidad de elementos retrospectivamente tipificados como mágicos, médicos, teológicos o experimentales. Si se aceptan estas diferencias notables, algunos «experimentos» alquímicos, bien a través de textos o mediante actividades prácticas, para pensar aspectos de la ciencia actual mediante perspectiva histórica. Veamos algunos ejemplos de los potenciales beneficios que podrían seguirse.

La diversidad de prácticas alquímicas, tanto a lo largo del tiempo como dentro de un mismo periodo histórico, constituye otro de los grandes retos para las personas que investigan su extensa historia en varias partes del mundo. La alquimia china ofrece numerosos ejemplos que permiten menguar el eurocentrismo hegemónico, con muestras pioneras como el uso de ácidos fuertes, técnicas metalúrgicas o la destilación, entre otros. Por otro lado, la designación retrospectiva de la gran variedad de prácticas agrupadas bajo el nombre de alquimia no contribuye a resolver esta cuestión, a menudo añade confusión y capas de significación anacrónica que es necesario remover antes de hacer un uso didáctico. Esta situación es especialmente relevante durante los siglos XVI y XVII, cuando química y alquimia eran expresiones a menudo utilizadas como sinónimos con formas diversas. Para evitar una tipificación a posteriori, siempre impregnada de valoraciones implícitas, los historiadores William Newman y Lawrence Principe han propuesto el uso del término «chymia» para referir a este conjunto diverso de saberes. Esto incluye un amplio repertorio de ingredientes teóricos y actividades prácticas, como por ejemplo la «crisopeia» (la investigación de la transmutación de los metales en oro), la «chemiatria» (la investigación de remedios terapéuticos) o la destilación (producción de aguas destiladas, perfumes y extractos medicinales). En los libros de los siglos XVI y XVII es frecuente encontrar también expresiones como «espagiria», un término de origen griego que se refiere al análisis y la síntesis de sustancias, o «arte hermético», que alude a la conexión con el legendario fundador de la alquimia, el personaje mitológico Hermes Trismegisto, y a la larga tradición hermética.

Estas prácticas e ideas podían combinar fructíferamente con elementos del corpus filosófico antiguo, desde las ideas hilomorfistas de Aristóteles o del corpus atribuido a Jabir ibn Hayyan, a incluso planteamientos de inspiración corpuscular o atomista, tal y como es posible encontrar en los textos inspirados por la obra del siglo XIII atribuida a Geber, nombre latinizado de Jabir, el famoso alquimista árabe antes mencionado. De hecho, varios estudios han señalado que el autor real de este último texto podría ser uno de los primeros monjes franciscanos (Paul de Tarento) que confeccionó textos alquímicos, así como también lo hicieron miembros otras órdenes religiosas. Estos ejemplos ponen de manifiesto la creativa relación entre alquimia y teología a lo largo de la Edad Media y Moderna, a pesar de lo que afirman con obstinación las personas defensoras de la antigua «tesis del conflicto» entre ciencia y religión. El caso mencionado de la obra falsamente atribuida a Geber indica que otra dificultad para abordar la alquimia es la determinación de la autoría. Muchos textos alquímicos han sido atribuidos a personajes reales o imaginarios para aprovechar su autoridad como filósofos, teólogos o médicos. Los textos más antiguos de la alquimia occidental están atribuidos a personajes como Demócrito, Cleopatra o el mago persa Ostanes. Otras autoridades de la alquimia son personajes mitológicos, provenientes de varias tradiciones culturales donde esta práctica fue cultivada, a menudo conectados con figuras reales o imaginarias. Un ejemplo destacado es María la Judía (conocida por diferentes nombres y heterónimos) a la que se atribuyen una gran cantidad de operaciones e instrumentos, entre ellos el «baño María». En realidad, muchas de estas referencias proceden de las obras de Zósimo de Panópolis, un autor que vivió entre los siglos III y IV d.C y escribió diversas obras que han sobrevivido hasta la actualidad. Zósimo menciona a María la Judía junto con otros supuestos fundadores de la alquimia procedentes de tradiciones egipcias (como Isis o Cleopatra), persas (Zoroastro) y judías (Moisés).

Este juego de atribuciones puede confundir, pero también proporciona información relevante. La evocación de autoridades como María la Judía o Cleopatra es un indicio de la gran cantidad de mujeres anónimas que llevaron a cabo actividades alquímicas de diversa índole, de las cuales tenemos muchas referencias a medida que nos acercamos a la época moderna. La historiadora Elaine Leong ha recopilado miles de recetas médicas procedentes de colecciones inglesas del siglo XVII, muchas de las cuales incluyen destilaciones y otras transformaciones de inspiración «chymica». Solo unas pocas de estas obras fueron publicadas en forma de libro, como fue el caso del texto de Marie Meurdrac, quien probablemente aprendió gracias a la asistencia a cursos públicos, la lectura de textos alquímicos y paracelsistas, así como con la práctica personal en un laboratorio doméstico, donde preparaba medicamentos para el uso de sus familiares y conocidos. En 1666, Meurdrac publicó anónimamente *La chymie charitable & facile, en faveur des dames*, uno de los primeros manuales de «chymia» que incluía recetas médicas y cosméticas de diverso tipo, bajo concepciones inspiradas por los tres principios paracelsistas (mercurio, azufre y sal). Meurdrac era consciente de las controversias sobre el uso de los medicamentos «chymicos», por lo cual optó por no tratar algunos de los más polémicos (como el oro potable) y abordó con prudencia este tema. Sus escritos están basados en sus experimentos o en recetas facilitadas por familiares y amigos. Estos textos, y otros muchos recopilados y estudiados recientemente por Alisha Rankin, Meredith K. Ray y otros dentro del «Recipes Project», permiten pensar varios aspectos de los espacios de trabajo femenino en la Edad Moderna, así como el intercambio de información manuscrita, las estrategias para lograr autoridad y credibilidad o las dificultades insuperables para reproducir ingredientes, instrumentos y técnicas con diferentes adaptaciones y versiones. También nos permite pensar reacciones misóginas contra el papel creciente de las mujeres en la producción de saberes, que produjo una conocida controversia («querelle des femmes») con sorprendentes resonancias con la actualidad. De hecho, Meurdrac añadió a la introducción de su libro reflexiones críticas donde denunciaba los prejuicios sobre el papel de las mujeres en el terreno del saber y abogaba por una mayor igualdad de oportunidades en este sentido. El ejemplo de Marie Meurdrac demuestra que la historia de la alquimia puede ser una herramienta valiosa para reflexionar en las aulas sobre cuestiones contemporáneas, tal y como han mostrado, por ejemplo, los trabajos de Núria Solsona.

Es evidente que necesitamos más proyectos didácticos y experiencias de aula que dialoguen con los estudios históricos sobre la alquimia. Esta confluencia puede servir para introducir en las aulas de química una gran cantidad de temas sobre las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, tales como la dualidad natural-artificial que fue uno de los grandes debates de la alquimia en cuanto a la posibilidad de una «verdadera» transmutación. También puede servir para pensar el problema del plagio y de las falsas autorías, que ha cobrado un nuevo significado en la era de la inteligencia artificial, o las relaciones entre varias formas de saber dentro y fuera del mundo académico (magia, hermenéutica bíblica, experimentos, saberes artesanales, pluralismo médico.). Otro ejemplo es la circulación de saberes técnicos relacionados con la destilación. Su viaje desde el mundo oriental hacia Europa y después hacia los nuevos territorios americanos permite pensar el papel creativo de la circulación de la ciencia y las diferentes formas de aclimatación de técnicas diversas, con importantes consecuencias a corto y largo plazo, desde la producción de bebidas alcohólicas hasta la elaboración de extractos de destilados con fines terapéuticos. Dada la gran dispersión de las prácticas alquímicas en el planeta se pueden presentar personajes y situaciones relacionadas con los ámbitos geográficos próximos al alumnado, de modo que resulte posible pensar la tradición alquímica local y sus transformaciones. Las obras alquímico-teológicas de Joan de Peratallada (Johannes de Rupescissa), los intentos bajomedievales de producir «oro potable» en diversos territorios de la Corona de Aragón o la práctica de la destilación en la corte de Felipe II son ejemplos que podrían convertirse en puntos de partida para situaciones de aprendizaje. Se ha señalado ya que algunos de estos procedimientos experimentales pueden ser reconstruidos en las aulas, siempre con las necesarias prudencias y adaptaciones señaladas por autores como Peter Heering. Pueden servir para pensar el variado papel de la experimentación dentro de marcos explicativos diferentes o para recordar las habilidades corporales (incluyendo el papel de los sentidos) en las prácticas de laboratorio. Las explosiones, los envenenamientos y las numerosas decepciones que acompañaron la labor alquímica también puede utilizarse para señalar los riesgos asociados con la investigación dentro y fuera de los laboratorios, conectándolo con la famosa parábola del aprendiz de brujo o con las modernas representaciones del «mad scientist».

La alquimia también permite pensar otros aspectos como el lenguaje esotérico, los símbolos enigmáticos y la cultura visual de la ciencia. A pesar de la enorme distancia con la ciencia contemporánea, estas cuestiones siguen teniendo un papel crucial en la formación científica actual, muchas veces sin que se le preste la atención que sus dificultades merecen. Otro asunto relevante, conectado con el anterior, son las diversas formas de comunicación de saberes que presenta la alquimia. Por un lado, se conocen una gran cantidad de manuscritos de diversos tipos, desde las modestas recetas domésticas o los cuadernos de laboratorio hasta el mencionado manuscrito del Trinity College de Cambridge, cuidadosamente elaborado sobre un costoso pergamino por un anónimo escriba del siglo XV. La llegada de la imprenta supuso un gran impacto en la alquimia, entre otras cuestiones por la aparición del popular género de «libros de secretos» con algunos contenidos similares respecto a productos y operaciones. Sin embargo, gran parte de la tradición alquímica siguió circulando mediante textos manuscritos o a través del contacto personal. Son cuestiones que permiten pensar las transformaciones producidas por las nuevas tecnologías de la información a los inicios del siglo XXI. Los ejemplos muestran las ventajas de abordar cuestiones del presente con la ayuda de la alquimia, a pesar del abismo que nos separa de ella o quizá precisamente por esa misma distancia temporal y conceptual. El reciente libro del divulgador británico Philip Ball ofrece muchos ejemplos en este sentido, incluyendo un amplio uso de la variada cultura visual de la alquimia. Su libro muestra que la popularidad de la alquimia en la cultura popular es un incentivo para seguir explorando sus usos didácticos con la ayuda de las más recientes investigaciones históricas. Esta tarea solamente puede ser desarrollada a través de zonas de intercambio, como este renovado boletín *Faraday*, que puedan servir de punto de encuentro entre el profesorado de ciencias de diversas etapas educativas y quienes investigan las conexiones entre didáctica e historia de la ciencia en sus múltiples dimensiones.

Bibliografía

- Ball, P. (2025). *Alchemy: An Illustrated History of Elixirs, Experiments, and the Birth of Modern Science*. New Haven: YUP.
- Bertomeu Sánchez, J. R. (2025). Chymica y medicina en la Europa del siglo XVII. En: Javier Puerto Sarmiento (ed.) *La humanización de la sanidad a través de la historia. El Barroco*. Madrid: FCS, p. 183-219. Disponible a: <https://fcs.es/ebooks/>.
- Cabré i Pairet, M. (2021). La polémica de los sexos, *Sabers en acció*, 22 marzo. Disponible a: <https://sabersenaccio.iec.cat/es/la-polemica-de-los-sexos/> (Consulta: 12 de marzo de 2026).
- Ferragud, C.; Bertomeu, J. R. (2015). Mirades sobre l'alquímia a la València baixmedieval: un procés judicial sobre la producció de l'or potable (1440-1445), *Afers*, 30(82), pp. 421-446.
- Heering, P. (2023). Transformations: the material representation of historical experiments in science teaching, *The British Journal for the History of Science*, 56(3), pp. 351-368.
- Morris, P.; Rocke, A. J. (ed.) (2022). *A Cultural History of Chemistry* (vol. 1 y 2). London: Bloomsbury.
- Priesner, C.; Figala, K. (ed.) (2001) *Alquímia. Enciclopèdia de una ciència hermètica*. Barcelona: Herder.
- Principe, L. (2012). *The Secrets of Alchemy*. Chicago: University Of Chicago Press.
- De Vun, L. (2014). *Prophecy, Alchemy, and the End of Time. John of Rupescissa in the Late Middle Ages*. New York: CUP.
- Solsona, N. (2015). Redefinir y resignificar la historia de la alquimia: Marie Meurdrac. *Ens. de las Ciencias*, 33 (3), pp. 225-39.

José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto Interuniversitario López Piñero
Universitat de València
bertomeu@uv.es

Los Bernoulli o el mayor monstruo: los celos · José Antonio Martínez Pons

En todas las actividades hay familias cuyos miembros parece como si tuvieran una predisposición genética hacia aquella actividad; sirva de ejemplo típico el clan de los Bach, de los cuales el cantor de Leipzig, el gran Juan Sebastián, fue uno más en una larga cadena de músicos por ascendencia y descendencia. En ciencia no suele ser tan frecuente, aunque, por ejemplo, en España tenemos la dinastía de los Cabrera, padre, hijo y nieto; en Francia, la saga de las Curie... Por supuesto, los celos, las envidias y las puñaladas traperas son comunes en todas las actividades, sobre todo aquellas que hacen buena la frase cervantina «*poderoso es el nombre de primero*», como es el mundo del descubrimiento científico, pero que estas guerras tengan lugar en el seno de una misma familia no suele ser muy habitual y que se extienda a varias generaciones, menos aún. Las líneas que siguen son la historia, tratada con un ligero toque de humor, de una familia que se lleva la palma en cuanto a lo bueno y lo malo: la familia Bernoulli. Si bien se trata de un trabajo de divulgación que no descubre nada nuevo, puede ser de interés como recurso docente a fin de hacer ver a nuestro alumnado que la ciencia la hacen personas con virtudes y defectos.

Empezamos con la historia

A cualquier estudiante de ciencias el nombre de Bernoulli le suena, ya sea por sus aportaciones a la mecánica de fluidos, resumidas en la ecuación de Bernoulli, fundamental en la dinámica de fluidos. También por las aportaciones al cálculo y ahí está la no menos famosa ecuación diferencial $y' + y P(x) = y^q Q(x)$, compañera de las de Riccati y Clairault a la hora de hacer sufrir a estudiantes novicios de análisis matemático. Incluso en el terreno de la probabilidad está la distribución de Bernoulli, por citar los hitos más destacados de la trayectoria de la familia. Pero, ¿quién era Bernoulli, mejor dicho, quiénes eran los Bernoulli? Pongámonos en situación: Bruselas, 1622. Jakob Bernoulli, hugonote convencido y hoy diríamos que «fundamentalista» en la Bélgica mayoritariamente católica, no estaba precisamente cómodo, por lo que buscó aires más tolerantes para su fe calvinista y emigró a Basilea (Suiza), donde ya había emigrado Calvino, el líder espiritual de los hugonotes, hoy más conocidos como calvinistas. En la doctrina calvinista se acepta la predestinación, es decir, existe un plan de Dios y al ser humano le toca ser una rueda más en el engranaje. Dentro de este plan de Dios, cada hombre tiene un destino. Jakob Bernoulli cumplió el suyo, prosperando económicamente (a quien Dios ama bendice con bienes materiales, incluso en esta vida, piensan muchos calvinistas) y casándose tres veces. Sin embargo, de sus tres matrimonios sólo tuvo un hijo, Nikolaus. No se puede tener todo. Nikolaus compensó la parquedad reproductiva de su padre teniendo una docena de hijos, pero, como por otra parte era normal en aquella época, sólo cuatro llegaron a la edad adulta. De estos cuatro nos interesan dos, Jakob, nacido en 1654, y Johann, en 1667. Nikolaus intentó descubrir los designios divinos respecto a sus hijos. A su parecer, un hombre serio y reflexivo como Jakob estaba destinado a la teología, en tanto que el carácter de Johann era signo indiscutible de su destino al mundo del comercio. Los hijos fueron en principio dóciles a las inspiraciones paternales y Jakob ingresó en la Universidad de Basilea para estudiar Filosofía y Teología. Pero Dios escribe recto con renglones torcidos, ya que el serio y reflexivo Jakob, a hurtadillas, estudiaba matemáticas y astronomía, con un cierto grado de culpabilidad que le llevó a confesar a su diario: «*Estudio las estrellas contra la voluntad de mi padre*». Con Johann se hizo pronto evidente que la premonición paterna había fallado. Nikolaus le colocó de aprendiz en el negocio de farmacia y especias de la familia, pero el joven lo hizo tan rematadamente mal que el devoto calvinista concluyó que había errado y decidió que Johann debía estudiar medicina. A fin de cuentas, todo quedaba en casa.

Aparecen las matemáticas

A los 16 años, Johann ingresó en la Universidad de Basilea y se graduó en medicina... pero, también a escondidas de su padre y con la ayuda de su hermano Jakob, se dedicó a estudiar matemáticas. Estamos en 1684. En este momento sale a la calle un artículo firmado por el alemán Gotfried Wilhelm Leibniz que sienta las bases de un nuevo método de cálculo: el cálculo infinitesimal. Según parece el artículo en cuestión no provocó especial revuelo, quizás por no estar escrito con suficiente claridad, tal vez, dicen algunos, de modo intencionado, por parte de G.W.L. A la par que el alemán, el escocés Isaac Newton había desarrollado su propia versión, aunque no la había publicado. Las controversias entre ambos matemáticos son interesantísimas, de momento las vamos a pasar por alto. El trabajo cayó en manos de los hermanos que comprendieron muy poco del mismo, pese a que lo intentaron. Desesperados, escribieron al autor solicitando su ayuda. Leibniz ni siquiera acusó recibo de la misiva. Los Bernoulli no se desalentaron y siguieron «erre que erre». Como el que la sigue la consigue, un buen día, de repente, se hizo la luz en la mente del mayor, que compartió su descubrimiento con su hermano. Todo el intríngulis estaba en el concepto de infinitesimal, una especie de mota desprovista de toda complicación. Un suceso complejo podía dividirse en partes infinitesimales, simples, y sumar los efectos, de este modo el problema estaba resuelto. Con este método parecía que era posible predecir cualquier cosa, incluso, tal vez, el comportamiento humano. Obsérvese lo importante que para un devoto calvinista debía ser la nueva metodología. Puesto que Dios sabía por anticipado lo que iba a ocurrir, el cálculo infinitesimal era una forma de leer la mente de Dios. Es más, era una prueba apologética de lo acertado de las ideas calvinistas. Todo, incluso el vuelo de una moneda podía descomponerse en elementos infinitesimales y calcular el resultado en apariencia aleatorio. Durante tres años siguieron escrutando el cálculo, entonces les llegó una carta inesperada del maestro Leibniz. Llenos de alegría le contestaron y entre los tres se estableció una fluida correspondencia científica. Pero las alegrías no pueden durar mucho y Papá Nicolás se enteró. No se le ocurrió pensar en que el plan de Dios fuera que sus hijos se convirtieran en matemáticos, sino que montó en cólera y les conminó a que abandonaran «*pasatiempos inútiles e improductivos*» como las matemáticas y se buscaran algo útil, que él no estaba dispuesto a mantener vagos.

Jakob encontró trabajo de profesor de matemáticas en la Universidad de Basilea y allí, lentamente, fue desarrollando el cálculo, aplicándolo a múltiples campos, como la física, la química e incluso, la economía, al tiempo que se labraba una sólida reputación.

Johann, por su parte, emigró a París con la sana idea de guiar a los matemáticos galos en los nuevos métodos. La idea además de sana fue productiva porque, en opinión de todos, el más destacado matemático francés, el marqués de l'Hôpital, le ofreció nada menos que 300 libras para que *«le concediera a ratos algo de su tiempo para trabajar en lo que a él le pareciera»* y *«para que le comunicara sus últimos descubrimientos, pero no a otros»* (listo que era el señor marqués). Johann, que andaba apuradillo de pecunia, aceptó con reticencias esta última condición, pero, tal vez para consolarse, pensó que Monsieur le Marquis parecía un caballero honorable. Por estas fechas estalló la controversia sobre la prioridad en el descubrimiento del cálculo infinitesimal entre Newton y Leibniz. Johann, con la arrogancia que le caracterizaba, se erigió en defensor del tudesco contra tirios y troyanos. Mientras, su fama crecía y su hermanito mayor no perdía oportunidad de apuntarse el tanto de que él, Jakob, había sido el maestro de Johann. En privado y a pesar de sus manifestaciones públicas, empezó a mostrar ciertos celitos sobre las capacidades de su hermanito, aumentadas con la amistad que Johann y Leibniz tenían.

Amor fraterno

Total, que, en 1695, Johann, tal vez harto de andar de la Ceca a la Meca, decidió que era hora de volver a casa y solicitó un puesto de profesor en la Universidad de Basilea. Jakob, celoso, intrigó hasta conseguir que, pese a su fama, la solicitud de su hermano fuera rechazada. (Empieza el destino manifiesto de la familia). Como en este mundo todo se sabe y siempre hay piadosas almas que gozan encizañando, Johann se enteró y se puso por las nubes. A pesar de todo, Christian Huyggens le llamó para se hiciera cargo de la presidencia del Departamento de Matemáticas de la Universidad holandesa de Groninga. La "guerra civil" había estallado. Los otrora bien avenidos hermanos empezaron a denigrarse en público, minimizando cada uno de ellos los trabajos del otro; todo desde las páginas de la revista *«Acta Eruditorum»*. Las cosas llegaron a tal extremo, que el director de la revista cortó por lo sano en 1699 y dejó de publicar los respectivos alegatos de la «bien avenidos hermanos». Ello no disuadió a los fraternales matemáticos, que siguieron con su guerrita particular a través de chismes, cartas y billetes transmitidos a los colegas. Lástima que no se hubieran inventado los Reality Shows o las redes sociales. Lo más curioso del caso es que, por lo demás, ambos eran hombres amabilísimos, sobre todo excelentes esposos y padres de familia. Jakob tenía dos hijos y Johann tres, entre ellos, el pequeño Daniel, nacido en Holanda. Acaba éste de cumplir cinco años cuando, por razones familiares, su suegro estaba muy delicado, Johann decidió regresar a Basilea. En el camino se enteró de que su hermano Jakob había muerto de tuberculosis. Quedaba pues vacante su puesto. Le faltó tiempo a Johann para intrigar y conseguirlo en dos meses. Resumiendo, Johann ocupó hasta el mismo despacho de su hermano, sin demasiado remordimiento.

De nuevo, el gen egoísta

Respecto a Daniel. El destino del joven, según su ilustre padre, era casarse con una joven rica y dedicarse al comercio, no pasarse la vida de triste profesor de matemáticas sin un céntimo. Daniel agachó la cabeza, dijo amén, aunque en su fuero interno pensaba hacer lo que le diera la gana, y al mismo tiempo, se alió con su hermano mayor Nikolaus II para que éste le enseñara y ¿Qué le iba a enseñar sino matemáticas? Era el sino de la familia. Danielito se entusiasmó con los logros de su padre y de su tío, pero también descubrió los trabajos de Newton, a quien su padre no perdía oportunidad de denostar, pero que con unas sencillas pero admirables leyes había conseguido explicar el movimiento de los sólidos. Daniel se preguntó si las leyes de Newton no serían aplicables al movimiento de los fluidos. Sin duda el joven Bernoulli recordaría el movimiento de los molinos y de los canales de la Holanda de su primera infancia. Johann, empeñado ahora en la batalla contra Newton, requirió refuerzos e incorporó a sus fuerzas de choque a su sobrino Nikolaus I, a su hijo Nikolaus II e incluso lo intentó con Daniel, de trece años, pero éste se negó a participar en la batalla. Johann no se molestó demasiado ya que creyó que ello confirmaba su idea de que su hijo no estaba interesado por las matemáticas, de modo que le colocó de aprendiz en el negocio farmacéutico, con tanto éxito como había tenido el abuelo con él mismo. Estaba visto que el destino de Daniel no pasaba por la industria farmacéutica. Daniel también lo comprendió y decidió ponerse por montera las inspiraciones paternas, incluso en lo referente a la novia prevista y a las matemáticas y así lo expuso.

Johann aceptó que Daniel estudiara matemáticas, pero de convertirse en profesional de esta ciencia, nada de nada, debía estudiar medicina. Como se ve, la historia se repetía una generación más tarde. Daniel se matriculó en Medicina, pero siguió, acompañado de su hermano Nikolaus II, estudiando matemáticas. Al final Johann, viendo que no había nada que hacer, accedió a enseñar él mismo a su hijo. Desde luego Johann no era un gran pedagogo. Una vez, por ejemplo, propuso un problema especialmente difícil a su retoño. Éste estuvo dándole vueltas al asunto hasta que lo resolvió. Johann, en lugar de felicitarle, le reprendió por no haberlo resuelto sobre la marcha. Evidentemente, no obstante, Daniel era un chico listo y a los 15 años ingresó en la facultad de medicina. Los estudios médicos le llevaron a concebir el cuerpo como una máquina e interesarse de un modo especial en el comportamiento de los fluidos. De hecho, se vio muy influenciado por el médico inglés Harvey. Su tesis se refirió a la mecánica de la respiración humana.

Sorte premium non tulit¹

Acabados los estudios a los 21 años, solicitó un puesto docente en la Universidad. No lo obtuvo, aunque esta vez no se repitió la historia paterna. La costumbre en la Universidad era sortear las plazas docentes entre los candidatos mejor cualificados. Salieron

¹ «La suerte no le otorgó el premio». En muchas universidades cuando se otorgaba un premio o distinción único procedía a sortearlo entre los candidatos mejor calificados. Entonces se anunciaba solemnemente el galardono con la frase «Sorte premium tulit». Así lo presencié quien esto suscribe allá por los últimos años de la década de 1960 en uno de estos solemnes actos en la Universidad Gregoriana de Roma.

dos puestos, de anatomía y de botánica y lógica. Daniel quedó finalista, pero perdió ambos sorteos. Duro golpe para quien pensaba que con el cálculo se podía predecir todo y caía víctima del azar de un sorteo. Para olvidar su relativo fracaso, dejó Basilea y marchó a Italia, pero cayó enfermo de fiebres. Durante su convalecencia, se carteó profusamente con el matemático prusiano Christian Goldbach (famoso por formular la conjetura según la cual todo número impar puede escribirse como suma de tres números primos, demostrada en 1977 por el peruano H.A. Helfgot). El contenido de estas cartas eran fundamentalmente reflexiones sobre lo que había aprendido con su padre. Una vez repuesto, decidió presentarse a la competición anual de la Academia Francesa. La academia gala planteaba cada año un problema. Esta vez se proponía la construcción de un reloj de arena o de agua fiable incluso con mares embravecidos. Hay que resaltar que la búsqueda de un reloj de precisión era una cuestión importante de cara a la navegación, ya que era fundamental para el cálculo de la longitud del lugar. Años más tarde, el Almirantazgo británico ofreció igualmente un importante premio en este sentido. La historia que siguió relativa a este premio también es interesante y divertida, tal vez en otra ocasión la relate. Daniel propuso montar el reloj sobre una lámina de hierro que debía flotar sobre un recipiente con mercurio. Su solución resultó premiada, con sorpresa por parte del propio Bernoulli. Además, su amigo Goldbach decidió publicar las cartas que Daniel le había escrito. Al regresar a Basilea, Daniel se encontró una invitación de la emperatriz Catalina «la Grande» de Rusia para que viajara a San Petersburgo y ocupar un puesto de profesor de matemáticas en la Academia Imperial. A Daniel le daba miedo, pero su hermano Nikolaus II se ofreció a acompañarle. La emperatriz aceptó y ambos se desplazaron a la capital rusa. En otoño de 1675, se encaminaron a Rusia, en un largo viaje de dos meses. A pesar de la cálida acogida del pueblo ruso, el clima se mostró inmisericorde y el pobre Nikolaus enfermó y falleció víctima de la tuberculosis.

Entra en escena un primo postizo

Entonces Daniel requirió la presencia de un joven alumno de su padre, llamado Leonhart Euler, por más señas, hijo de un pastor calvinista. Era un auténtico prodigio, hasta se contaba que en su tierna infancia había sido capaz de leer una traducción latina de los libros de Euclides, con la salvedad de que no sabía latín. Mientras Euler se desplazaba a San Petersburgo, Daniel volvió sobre el tema de la circulación de la sangre y del problema de los fluidos en movimiento. Por estas fechas falleció Sir Isaac Newton. Johann Bernoulli, en cierta manera se alegró; no le cabía duda de que ahora nadie le iba a discutir el primer puesto en la clasificación de matemáticos vivos. Claro que no todo es gozo en la vida. El Marqués de l'Hôpital se la acababa de jugar. Recordemos que había contratado tiempo hacía a Johann Bernoulli como profesor y confidente científico. Pues bien, el señor marqués había salido de la cáscara amarga ya que, para empezar, se atribuyó algunos de los descubrimientos que Bernoulli le había confiado, encima dejó de pagarle la cantidad estipulada y, para colmo, había publicado un libro de cálculo que se vendió muy bien sin, no ya compartir los beneficios, sino ni siquiera citando al basiliense. Por otra parte, los problemas con la familia política habían obligado a Johann a renunciar a muchas ofertas interesantes y le habían dejado en su pequeña universidad. Para colmo, ni siquiera había obtenido una miserable mención en el concurso de la Academia Francesa, cuando hasta el pipiolo de su hijo había logrado un primer premio. Es más, su alumno Euler, con sólo 19 años, acaba de obtener el Diploma de Mérito de la Academia. Euler llegó San Petersburgo y en el magnífico ambiente de la Academia Rusa, que estaba reclutando a las mejores cabezas de Europa y proporcionándoles los medios necesarios.

Daniel y Euler trabajaron con ahínco en problemas comunes y por separado. Euler era más teórico, sin embargo, por ejemplo, Daniel era más práctico, experimental se diría ahora. Sobre todo, le obsesionaba la dinámica de los fluidos, especialmente la medida de la presión en el interior de una tubería, para medir la presión sanguínea. Por ejemplo, Euler había estudiado las vibraciones de las campanas y los tambores en su «Nueva teoría de la música» y Daniel Bernoulli amplió las ideas de Euler a los tubos de órgano. Al fin, después de desechar el método de Mariotte, con un balancín acabó lográndolo, haciendo una pequeña punción a la que acoplaba un capilar, cuya altura precisamente le daba la medida deseada. Hasta la aparición del esfigmomanómetro actual, habían de pasar muchos años. A partir de ahí, combinando sus observaciones con los estudios anteriores, sobre todo con la «*vis Viva*» de Leibnitz que les había preocupado a él y a su padre en sus primeros años de aprendizaje, llegó a una ecuación fundamental «*presión + vis viva = constante*». Incluso llegó a una expresión de la *vis viva* en función de la velocidad y la densidad ($P + \rho v^2 = \text{cte}$). Casi un siglo después, G. Coriolis introdujo el factor $\frac{1}{2}$ en la «fuerza viva», tal como se conoce hoy ($P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte}$).

Bernoulli comunicó sus descubrimientos a sus amigos de la Academia, especialmente a Euler, que se estaba cimentando una sólida fama y que era el científico que mayor cantidad y variedad de trabajos estaba publicando. En 1730, por fin Johann obtuvo el gran premio de 2.500 libras, otorgado por la Academia Francesa. Daniel a pesar de lo bien que estaba en Rusia sintió deseos de regresar a casa y lo hizo optando por una plaza en la Universidad. Por fin, los datos le fueron favorables y obtuvo una plaza de profesor de Anatomía y Botánica. Antes de dejar Rusia, concluyó un manuscrito en que relacionaba sus trabajos a lo largo de los siete años que estuvo a orillas del Báltico, incluyendo por supuesto sus descubrimientos sobre la mecánica de fluidos. Antes de publicarlo, quiso añadir una sección final que confió a su amigo Euler, a quien recomendó además para que ocupara el puesto que él iba a dejar vacante.

De vuelta a casa y cómo los celos cambian de signo

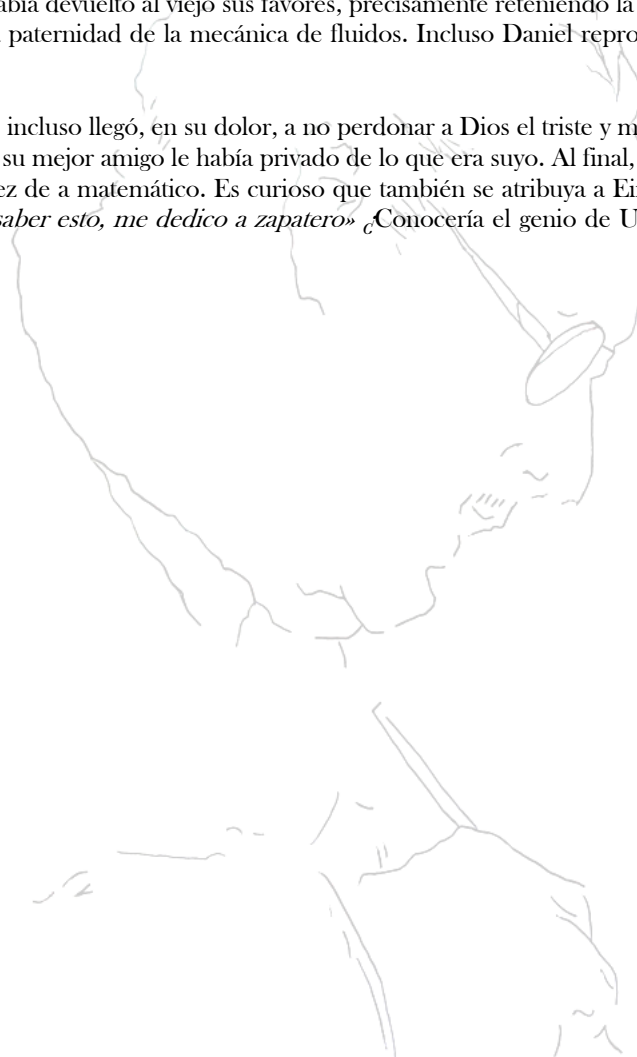
Daniel regresó a Basilea. Fue muy bien recibido, incluso se alojó en casa de su padre. El trabajo no era agobiante, por lo que pudo dedicarse a completar su manuscrito. Entonces surgió una dificultad. En 1734, la Academia concedió el premio *ex-aequo* a padre e hijo. El padre se sintió ofendido y humillado por la decisión y las relaciones con su hijo se enrarecieron hasta el extremo que Daniel abandonó la casa paterna. Trabajó duramente y al final del año tenía completado en manuscrito que dio a la imprenta en

Estrasburgo. Dado el lento sistema de impresión y encuadernado de entonces, el libro tardó tres años en salir a la calle, su título: «Hidrodinámica» y firmaba «Daniel Bernoulli, hijo de Johann», con lo que pretendía homenajear a su ingrato padre.

Daniel preparó un lote de ejemplares que envió a su amigo Euler, con indicaciones de que se quedara con un ejemplar y repartiera los restantes entre los científicos de la Academia, además de que entregara uno a la Emperatriz Ana. Pasó casi un año y Daniel no recibió noticias ni comentarios de su trabajo, por lo que escribió a Euler. No había habido noticias porque los libros no habían llegado. Al fin llegaron y Euler mandó una fría alabanza a Daniel. Al final se destapó el pastel. Johann había enviado a Euler un manuscrito, supuestamente original, sobre mecánica de fluidos que debía titularse «Hidráulica». Euler manifestaba su sorpresa porque no sabía que Johann se hubiera dedicado nunca a investigar en este terreno, pero daba por sentada la honestidad del viejo Bernoulli. Al final de 1740 llegó el libro completo.

Euler escribió una elogiosa reseña al libro del padre y más o menos se excusó porque hería los sentimientos de Daniel. En 1743, apareció impresa La Hidráulica. En el frontispicio se indicaba como año de publicación 1732 (evidentemente, era falso), dando a entender que era anterior a la *Hidrodinámica*. Contenía, además, un extracto de la crítica de Euler. El disgusto de Daniel se puede imaginar: «Se me ha despojado de mi entera "Hidrodinámica" sin que quepa atribuir a mi padre ni el crédito de una coma». Daniel estaba convencido de que Euler había devuelto al viejo sus favores, precisamente reteniendo la difusión del libro y dejando que el anciano Bernoulli se alzara con la paternidad de la mecánica de fluidos. Incluso Daniel reprochaba a Euler que minimizara sus trabajos.

Daniel nunca perdonó a su padre, incluso llegó, en su dolor, a no perdonar a Dios el triste y mezquino plan que había asignado a su vida, en la que entre su padre y su mejor amigo le había privado de lo que era suyo. Al final, dejó las matemáticas y lamentó no haberse dedicado a zapatero en vez de a matemático. Es curioso que también se atribuya a Einstein una frase semejante ante las ruinas de Hiroshima: «Si llego a saber esto, me dedico a zapatero» ¿Conocería el genio de Ulm la frase del infeliz calvinista de Basilea?



José Antonio Martínez Pons
GEDH, RSEF-RSEQ
jamartinez46@outlook.es

Un malentendido pertinaz · José Angosto Garat

Einstein escribió su célebre equivalencia masa-energía por primera vez en su artículo: «*¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido de energía?*». Lo envió a la revista *Annalen der Physik* el día siguiente a la publicación del artículo en el que presentaba su teoría especial de la relatividad, en septiembre de 1905. En este artículo de apenas tres páginas puede leerse: «Si un cuerpo cede la energía L en forma de radiación, su masa disminuye en L/V^2 ». Esto es lo más parecido a $E=mc^2$ que aparece en el artículo. L era la letra utilizada para designar la energía, y V para la velocidad de la luz. Luego añadía que dicho resultado «nos conduce a una conclusión más general: si [la energía de un cuerpo] cambia en L , la masa cambia en el mismo sentido en $L/9 \cdot 10^{20}$, cuando la energía se mide en ergios y la masa en gramos». Además, se precisaba: «No se excluye que con cuerpos cuyo contenido de energía es variable en alto grado (por ejemplo, las sales de radio) la teoría pueda confirmarse».

En mi opinión los escritos de Einstein rara vez son tan claros. Por ejemplo, si comunicamos a un cuerpo la energía necesaria para escapar del campo gravitatorio de la Tierra, su masa aumentará aproximadamente un $7 \cdot 10^{-8} \%$. Basta con aplicar las expresiones $\Delta E = \frac{GMm}{R}$ y $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta E}{mc^2}$. Con otros cálculos sencillos también podemos llegar a comprobar que si explotamos TNT, la disminución de masa será del $5 \cdot 10^{-6} \%$. He ahí por qué Einstein pensó en «cuerpos cuyo contenido de energía es variable en alto grado». Aunque la naturaleza de la radiactividad estaba entonces muy lejos de comprenderse, sí se sabía que cantidades ínfimas de cloruro de radio emitían luz y hacían conductor al aire durante mucho tiempo, lo que hizo a Einstein conjeturar que, al contrario que en los ejemplos anteriores, la radiactividad sí permitiría medir la variación de masa que predecía su fórmula.

Sabemos desde hace ya un siglo que en los procesos nucleares la variación de masa puede alcanzar el 1 %, lo que no sólo es perfectamente medible, sino que hace a la ecuación de Einstein una herramienta cotidiana en el estudio de las propiedades de los núcleos. Por ejemplo, arrancar un protón al ^4He , cuya masa es de 4,00 u, cuesta una energía de 19,8 MeV, lo que supone una variación de masa del 0,53 %. Con estos ejemplos confío en haber aclarado que la diferencia entre los procesos físicos o químicos clásicos y los nucleares frente a la ecuación $E=mc^2$ es puramente cuantitativa. Sin embargo, es ya una tradición asociar dicha equivalencia a la energía nuclear y, de ahí, atribuir a esta energía la propiedad exclusiva de transformar masa en energía, lo que constituye un grave error conceptual: la confusión de causa con efecto. Para ser más concretos:

- **Enunciado correcto:** en una reacción nuclear se produce tanta energía que puede medirse la variación de masa de acuerdo con la ecuación de Einstein.
- **Enunciado falso:** en una reacción nuclear se produce tanta energía porque la masa se transforma en energía de acuerdo con la ecuación de Einstein.

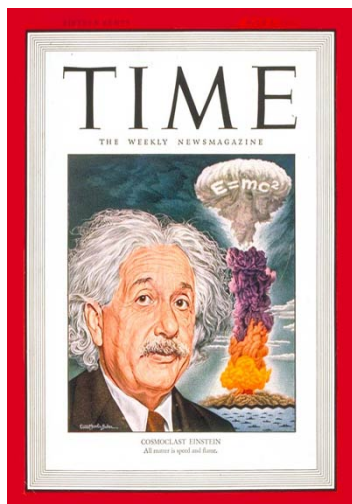


Figura 1: Portada de Time con la famosa ecuación al fondo.
Fuente: Time.

En los procesos nucleares la alta variación de energía es la causa, la pequeña variación de masa el efecto. Por tanto, decir que en una reacción nuclear la masa se convierte en energía es una obviedad, pues lo mismo sucede al oxidar hierro o liberar un muelle; pero afirmar que esta conversión es la razón por la que se produce tanta energía en dichas reacciones es simplemente falso. La Figura 1 muestra la referencia más antigua de este error de la que dispongo. En este número de la revista TIME, de julio de 1946, puede leerse: «Fue su ecuación ($E=mc^2$) la que hizo que la bomba atómica fuera teóricamente posible», lo que evoca la disparatada imagen de los científicos del proyecto Manhattan cavilando sobre cómo transformar masa en energía. Parece que esta portada tuvo un impacto mucho mayor que las protestas de G. Gamow, tal y como recoge en su célebre *Biografía de la Física*:

«Se deben decir algunas palabras sobre la afirmación que infesta los artículos de los periódicos y revistas que asegura que la relación masa-energía de Einstein es la base de la invención de la bomba atómica. Esto es un error, con el mismo derecho se puede decir que esa relación sirve de base para la invención de la nitroglicerina por Nobel (sic) o de la máquina de vapor por Watt... el papel de Einstein en el desarrollo de la bomba atómica no fue la fórmula $E=mc^2$ sino la carta que envió al presidente Roosevelt que, con la autoridad de Einstein, puso en marcha el proyecto Manhattan».

Tampoco faltan libros de texto que expliquen con claridad y sencillez el alcance general de la ecuación de Einstein. En mi vieja edición de 1974 del manual de Química de Babor-Ibarz, que se ufana de incluir el laurencio en su tabla periódica, leemos:

«La relación entre masa y energía da lugar a que la ley de conservación de la materia y la ley de conservación de la energía no sean leyes independientes, sino que deben reunirse en una única ley de conservación de la masa-energía. No obstante, las dos leyes pueden aplicarse separadamente con la sola excepción de los procesos nucleares. Si en una reacción química se desprenden 100.000 calorías la masa de los cuerpos reaccionantes disminuye en $4,65 \cdot 10^6$ g, cantidad totalmente inobservable».

Ha sido inútil. La fascinación que produce la ecuación de Einstein impide, según parece, razonar con claridad. En un reportaje sobre la fusión nuclear titulado «Instrucciones para construir el Sol» publicado en *El País* el 8 de septiembre de 2024, aparece la

explicación siguiente: «*Dos hidrógenos se convierten en un helio. Y en ese proceso se desprende mucha energía, porque se produce un déficit de masa, el de la famosa ecuación de Einstein...*». En un vídeo del canal de Youtube del Instituto de Física Teórica podemos encontrar el mismo error hasta tres veces, y en la web del Consejo de Seguridad Nuclear no hay que buscar mucho para encontrar la misma cantinela. Es más, si preguntamos a la IA de Google «por qué se produce tanta energía en la fisión nuclear» responderá, basándose en lo que he encontrado en la red: «*porque, al dividir núcleos atómicos pesados (como el U-235) mediante un neutrón, la masa total de los fragmentos resultantes es ligeramente menor que la masa del núcleo original...*».

Citaremos como último ejemplo el caso del libro titulado $E=mc^2$, biografía de Einstein publicada por David Bodanis. Se trata de un libro ameno e instructivo, plagado de historias apasionantes contadas por un autor bien documentado y que acredita una sólida formación científica, pero tan pronto como en la página 9 podemos leer: «*En 1939 quedaron claros los detalles de cómo se podía utilizar la ecuación de Einstein con fines bélicos*». O, peor aún, en la página 109: «*Eso [las investigaciones sobre el radio y el uranio] acabaría por mostrar cómo se podía acceder a la energía prometida por la ecuación $E=mc^2$* ».

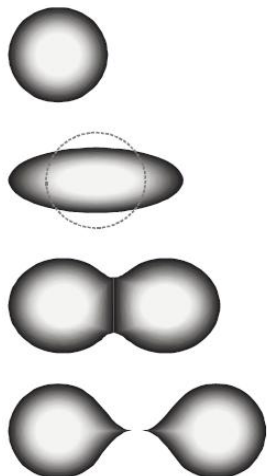


Figura 2: Proceso de fisión en el modelo de la gota líquida. Fuente: Hullernuc (Wikimedia)

¿Energía prometida? ¿Es $E=mc^2$ una nueva fuente de energía? El problema no es sólo confundir causa y efecto, que ya es grave, sino que inevitablemente se elude explicar la verdadera razón por la que se desprende tanta energía en la fisión y fusión nucleares. Se trata de dos mecanismos diferentes que hay que tratar por separado, y que en ningún caso tienen relación con la variación de masa. Esta es, como ya se ha dicho, solamente una consecuencia de la gran variación de energía que tiene lugar en ambos procesos. Como es sabido, cuando un núcleo de ^{235}U absorbe un neutrón lento da lugar a una forma muy excitada de ^{236}U , que se deforma hasta romperse en dos fragmentos, más 2 o 3 neutrones.

La energía necesaria para deformar este núcleo hasta la fisión proviene de la energía de enlace del neutrón absorbido. La Figura 2 muestra esquemáticamente el proceso en el marco del modelo de la gota líquida. En la realidad los dos trozos rara vez son de igual tamaño, uno de ellos suele ser aproximadamente el doble de grande que el otro. En la última etapa de la figura los dos fragmentos están separados por una distancia del orden del tamaño nuclear (en torno a 10^{-14} m) y se repelen con una fuerza inicialmente gigantesca (se sugiere al lector que la estime) que los acelera hasta velocidades próximas al 3 % de la de la luz. La energía cinética que adquieren los productos de fisión supone más del 80 % de la energía desprendida. El resto corresponde a los neutrones emitidos, rayos gamma y, a más largo plazo, desintegraciones beta y gamma.

Si en la fisión es fácil ver cómo la repulsión entre cargas de igual signo produce energía, aunque pasamos de puntillas sobre el mecanismo por el que el núcleo se rompe en la fusión sucede lo contrario: se entiende bien que sólo a temperaturas muy elevadas los núcleos se acercarán lo suficiente para que entre en juego la interacción fuerte, pero no es tan fácil ver cómo se produce energía a partir de ese punto. Esto es lo que pretende aclarar la Figura 3. Aquí d es la distancia entre los núcleos, de aproximadamente 3,8 fm en el máximo de energía potencial, que para dos núcleos de hidrógeno, habitualmente ^2H y ^3H , tiene un valor de unos 0,4 MeV, que corresponde a una temperatura de unos 2.200 millones de K. Por fortuna, el efecto túnel permite que la fusión se produzca a partir de una distancia cincuenta veces mayor, por lo que la temperatura de operación en un reactor de fusión puede ser de 150 millones de K.

Como se aprecia en la gráfica, que evidentemente no está a escala, la energía se produce cuando los núcleos superan la barrera de Coulomb (mejor tomando el túnel) y, en una distancia de apenas 1 ó 2 fm, se aceleran bajo la fuerza de atracción entre nucleones, unas 100 veces más intensa que la electromagnética. La energía neta generada en la colisión se la reparten el núcleo de ^4He que se forma, “doble mágico” en la jerga nuclear y por tanto de gran estabilidad, y el neutrón sobrante que, como exige la conservación del momento, se lleva la mayor parte (14,1 MeV frente a los 3,5 MeV del ^4He).

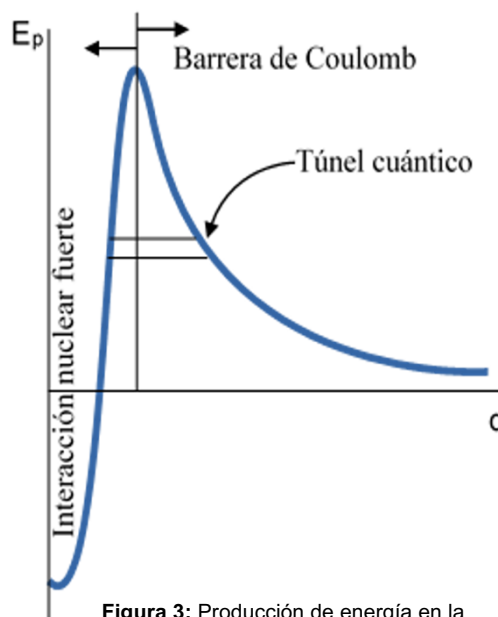


Figura 3: Producción de energía en la fusión nuclear. Fuente: Elaboración propia.

Me encontré con la gráfica de la Figura 4 por primera vez en el último curso de licenciatura. En los primeros ochenta del pasado siglo no era tan famosa como ahora, cuando podemos encontrarla en cualquier libro de texto de Física de 2.º Bachillerato.

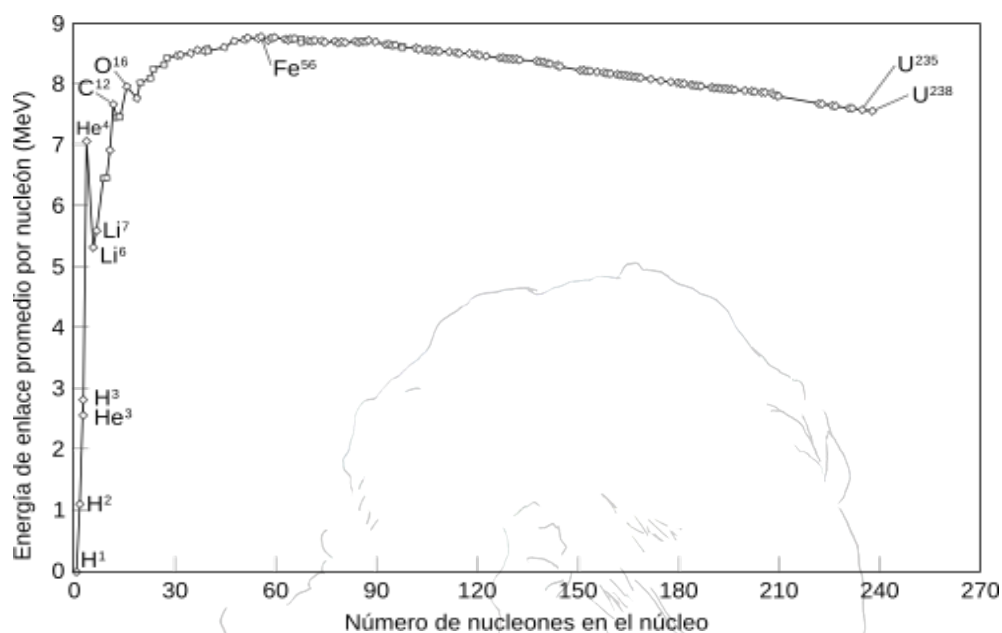


Figura 4: El sueño de todo físico. Fuente: Wikipedia.

Hay que reconocer que se trata de un gran logro científico. El tramo creciente muestra cómo obtener energía de la fusión, el decreciente de la fisión, el máximo la abundancia de carbono y oxígeno en estrellas muertas. Lo tiene todo: bombas atómicas, centrales nucleares, tokamaks, estrellas... ¡y encima $E=mc^2$! Sí, también esta fórmula, porque las energías de enlace se han obtenido multiplicando los defectos de masa por c^2 . Ese es exactamente el papel de la célebre fórmula en esta gráfica.

¿Cuál es el fallo? ¿Por qué tras aprendernos esta gráfica y aprobar la Física Nuclear algunos, demasiados, tardamos tan poco en proclamar que $E=mc^2$ explica el balance de energía en las reacciones nucleares? Nada en la gráfica sugiere que se obtiene energía porque desaparece masa. Los protones y neutrones del ${}^4\text{He}$ están más fuertemente ligados que los del ${}^2\text{H}$ o ${}^3\text{H}$. Si separarlos cuesta mucho se obtuvo mucha energía al unirlos. El mismo argumento es válido para la fisión, pero esto es solamente un balance de energía. Es opinión mía que debería insistirse en el mecanismo de producción de energía, repulsión electrostática para la fisión y atracción entre nucleones para la fusión, y también en que la disminución de masa es secundaria: sucede en todo proceso en que se desprende energía, únicamente que aquí sí se desprende tanta energía que es posible medirla. ¿Acabaremos así con el mito que yo llamo “Energía nuclear= mc^2 ”? Teniendo en cuenta el éxito que tuvo Gamow lo dudo, pero algo hay que hacer, aunque solamente sea protestar.

José Angosto Garat

joseangosto@gmail.com

¿Átomos o moléculas? El legado de Stanislao Cannizzaro en el bicentenario de su nacimiento. Historia de una transposición didáctica pendiente en el aula de Física y Química· Luis Moreno Martínez

Todo profesor de Física y Química, especialmente en 2.º y 3.º ESO, se ha encontrado con la dificultad terminológica de designar a las entidades que conforman las sustancias químicas en diversos sistemas materiales. Por ejemplo, cuando se introduce la teoría cinética de la materia para explicar sus estados de agregación, nos encontramos ante la tesitura de recurrir a dichas entidades para justificar, por ejemplo, si varía o no la forma y el volumen de sólidos, líquidos y gases. Estas entidades suelen ser denominadas en ocasiones como moléculas, en una acepción generalizada de dicho concepto estructurante de la física y de la química que puede llegar a incluir a los propios átomos (entendidos como moléculas monoatómicas). Incluso algunos autores han promulgado abandonar la disyuntiva entre átomo y molécula y hablar de átomos como moléculas mononucleares.¹ La cuestión se complica más aun cuando en los cursos superiores se aborda el enlace químico y se aplica la acepción restringida de molécula como entidad que resulta de la unión de un número discreto de átomos por enlace covalente. Aunque se encuentran con frecuencia numerosos trabajos que abogan por el uso generalizado primero y más específico después del término “molécula”, debo confesar -quizá para horror de algunos autores, físicos de partículas y didactas de la ciencia- que hasta la fecha encuentro útil el término “partícula”. Ello es debido a que este término, intencionadamente ambiguo, permite hablar de cualquier tipo de sistema material sin incurrir en denominaciones que, cursos después, pueden derivar en otros errores conceptuales y terminológicos, como hablar de la masa molecular de sustancias iónicas. En cualquier caso, progresar en el conocimiento de la física y la química es descubrir que las “partículas”, dependiendo del sistema o fenómeno objeto de estudio, pueden ser desde átomos aislados, átomos formando redes o moléculas a partículas subatómicas, culminando en el modelo estándar en la materia de Física de 2.º Bachillerato. Avanzar en el aprendizaje de la física y la química es, también, refinar y pulir su terminología, que siempre presenta limitaciones.

Esta tesitura didáctica en torno al término molécula, familiar para quienes enseñamos Física y Química a adolescentes, no es en absoluto actual, sino que hunde sus raíces en un periodo vibrante de la historia de la ciencia: el siglo XIX. Este siglo, caracterizado por la transición desde la filosofía natural hacia las disciplinas científicas actuales, fue testigo de un importante proceso de transformación del lenguaje científico. Es en este punto donde el Apunte de Historia de la Ciencia de este número de *Faraday* parte de una efeméride quizá no demasiado popular, el bicentenario del nacimiento del químico italiano Stanislao Cannizzaro, para ilustrar de forma práctica la utilidad de la historia de la física y la química para su profesorado. Se trata de un periodo en el que átomo y molécula fueron no solo términos no diferenciados como en el contexto actual, sino que se llegaron a emplear como sinónimos.² Asimismo, el siglo XIX estuvo caracterizado por la convivencia de un atomismo físico, que asumía los átomos como entidades reales, y un atomismo químico, que los entendía como recursos explicativos de interés para interpretar cuantitativamente las reacciones químicas.³ Esta cuestión suele pasar desapercibida en el contexto escolar. Por el contrario, las leyes ponderales y volumétricas de las combinaciones químicas sí están presentes, especialmente en 1.º Bachillerato. Es frecuente que numerosos libros de texto aborden el conflicto entre la teoría atómica de Dalton (que justificaba de forma satisfactoria las leyes ponderales de las combinaciones químicas) y la ley de volúmenes de combinación de Gay-Lussac (que no encontraba respuesta en la teoría daltoniana). La hipótesis de Avogadro se presenta como la solución a este conflicto, atribuyendo al científico italiano la idea de que los elementos que participan en las reacciones estudiadas por Gay-Lussac (habitualmente, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y cloro) no están formados por átomos aislados, sino por moléculas diatómicas (H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 ...). Como se abordará, esta cuestión representa un ejemplo del divorcio entre la historia de la ciencia en contextos escolares y los trabajos de investigación en historia de la ciencia al que se aludía en el editorial de este número.⁴

Stanislao Cannizzaro (1826-1910)

Es en este punto de la historia en la que entra en acción el protagonista de esta efeméride: el químico italiano Stanislao Cannizzaro, nacido el 13 de julio de 1826 en Palermo (Italia), en cuya universidad comenzó a estudiar medicina, para finalmente decantarse por la química. Continuó su formación en París junto a destacados químicos de la época como Dumas (1800-1884) y Wurtz (1817-1884). De vuelta a Italia, fue profesor de Física y Química en el Colegio Nacional de Alejandría en Piamonte entre 1851 y 1855. Después, se incorporó a la Universidad de Génova, donde trabajó no sin dificultades, como una importante falta inicial de recursos para investigar. En 1862 se trasladó a la Universidad de Palermo, donde impulsó los estudios de química, y de la que llegó a ser rector. En 1871 fue nombrado catedrático de Química de la Universidad de Roma. En la capital italiana desarrollará su carrera docente y política (pues fue senador) hasta su fallecimiento el 10 de mayo de 1910.



Figura 1. Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Fuente: Science History Institute.

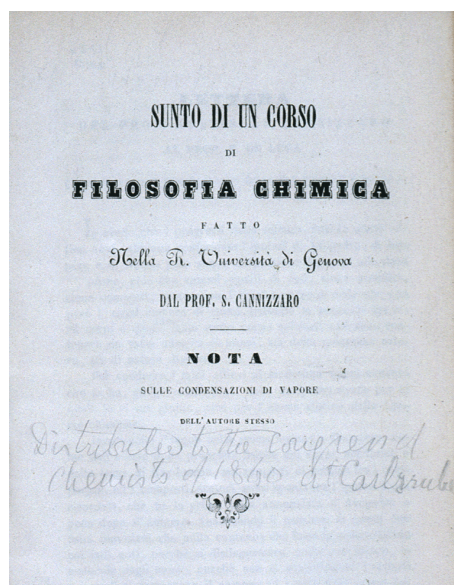


Figura 2. Célebre trabajo publicado por Cannizzaro en 1858. Fuente: *From Alchemy to Chemistry. Five Hundred Years of Rare and Interesting Books. University of Illinois.*

Sus restos descansan en el Panteón de Hombres Ilustres de Sicilia, junto a los de su esposa Enriqueta Whithers (1827-1892), con quien tuvo dos hijos (Mariano y Franca).⁵ Cannizzaro hizo notables aportes a la química, pero sin duda su mayor contribución se recoge en el artículo que publicó en 1858 bajo el título *Sunto di un Corso di Filosofia Chimica*, en el que hizo uso de las leyes de volúmenes de combinación de Gay-Lussac y la hipótesis de Avogadro para determinar pesos atómicos. Pero si hay un hito en la historia de la química que se atribuye a Cannizzaro es su labor de divulgación de las ideas de Avogadro entre los químicos de la época. En este punto, cabe destacar la celebración del primer congreso internacional de química, el cual tuvo lugar en la ciudad alemana de Karlsruhe del 3 al 5 de septiembre de 1860. De los 140 químicos convocados, asistieron 127, entre los que se encontraba Cannizzaro y su colaborador, Ángelo Pavesi (1830-1896), profesor de Química de la Universidad de Pavía.⁶ Al término del congreso, Pavesi distribuyó entre los asistentes varias copias de un folleto informativo elaborado por Cannizzaro en el que aclaraba algunas cuestiones que vertebraron las discusiones del congreso, como la determinación de pesos atómicos y moleculares o la disyuntiva terminológica entre átomos y moléculas, entendiendo los primeros como unidades mínimas de combinación y las segundas como mínimas unidades capaces de existir en estado libre.² Muchos químicos leyeron el trabajo de Cannizzaro de vuelta a sus países, gracias a la pericia de Pavesi. Entre los químicos que lo leyeron y lo valoraron positivamente cabe destacar al químico alemán Lothar Meyer (1830-1895), quien lo elogió por su claridad.⁶

Con todo ello, Cannizzaro trató de convencer a los químicos asistente al congreso de Karlsruhe de la validez y utilidad de los trabajos de Avogadro. Además, es muy posible que Cannizzaro promoviera la idea de las moléculas diatómicas de elementos gaseosos, atribuyéndola a Avogadro. Algunos historiadores de la química se hicieron eco de esa idea, que posteriormente se incorporó a los libros de texto del siglo XIX, sobreviviendo hasta la actualidad. La idea de moléculas diatómicas de H_2 , Cl_2 , N_2 y O_2 que encontramos habitualmente para explicar la relación de volúmenes en la síntesis del cloruro de hidrógeno, el amoníaco y el agua no es pues una idea original de Avogadro, sino de Cannizzaro. La importancia de los trabajos de Avogadro radica en que contempló el posible fraccionamiento de moléculas de los gases elementales en dos o más partes para justificar la evidencia experimental. A fin de interpretar los experimentos de Gay-Lussac, Avogadro planteó que los elementos gaseosos estarían formados por «moléculas reunidas en una sola por atracción», es decir, por moléculas constituidas a su vez por otras moléculas elementales (átomos en nuestra visión actual).⁷ Si bien la labor de Cannizzaro en el Congreso de Karlsruhe de 1860 fue de gran importancia, debe evitarse entender este momento como un punto de inflexión en la historia de la química. Así, antes del congreso ya había químicos, como Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856), que consideraban la existencia de fórmulas químicas como el H_2 o el Cl_2 , por su utilidad para explicar ciertas reacciones químicas. Después de Karlsruhe, el avance en química orgánica (donde era frecuente que un mismo elemento manifestara afinidad hacia sí mismo) contribuyó al abandono del dualismo electroquímico promulgado por el destacado químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), el cual veía inverosímil la existencia de moléculas diatómicas de un mismo elemento.³

A modo de conclusión: De la historia de la ciencia al aula de Física y Química

La transposición didáctica de los trabajos de Avogadro es un reto pendiente en la enseñanza de la física y la química.^{7,8} Así, si bien muchos libros denominan hipótesis de Avogadro a la afirmación «volúmenes iguales, de gases distintos, en las mismas condiciones de presión y de temperatura, contienen el mismo número de moléculas», lo cual es cierto; no es menos cierto que muchos continúan atribuyendo a Avogadro la idea de moléculas diatómicas de elementos gaseosos para justificar las leyes de los volúmenes de combinación de Gay-Lussac.⁷ Es aquí donde conviene detenemos, rescatar a Cannizzaro y al congreso de Karlsruhe, mostrando que detrás de conceptos aparentemente sencillos en la actualidad (como la distinción entre átomo y molécula) se esconde el esfuerzo colectivo y centenario de numerosas personas dedicadas a la ciencia. Si bien estas cuestiones suelen trabajarse en 1.º Bachillerato, curso en el que la materia de Física y Química tiene una extensión difícilmente abarcable, conviene mencionar la pertinencia curricular de lograr que el alumnado valore la importancia que tuvieron las leyes de las combinaciones químicas.⁸

En un contexto en el que átomo y molécula se usaban de manera indistinta, donde no se conocía a ciencia cierta la fórmula química de las sustancias (incluso Dalton pensaba que el agua era HO), no se conocían los mecanismos del enlace químico (que hoy nos

permiten explicar de manera sencilla por qué el hidrógeno o el oxígeno se encuentran en la naturaleza como H_2 y O_2) y en el que no se disponía de la magnitud cantidad de sustancia como puente entre la masa y el número de partículas (que tan útil nos es actualmente para los cálculos estequiométricos), los químicos tuvieron que hacer frente al estudio cuantitativo de las reacciones químicas «a ciegas» coligiendo, tras muchas décadas de esfuerzos, aprendizajes que hoy se adquieren en unos pocos años de formación. La Figura 3 ofrece una sencilla secuencia didáctica para el abordaje didáctico de esta cuestión en la materia de Física y Química de 4.º ESO o de 1.º Bachillerato, la cual ha sido publicada *in extenso* en otro trabajo publicado recientemente en *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*.⁸ Una modesta muestra del todavía largo recorrido que tenemos por delante para acercar didáctica e historia de la física y la química a nuestras aulas; una labor fundamental para mejorar la enseñanza de ambas ciencias mostrando a nuestro alumnado cómo se construye el conocimiento científico, así como la dimensión humana de la física y la química.

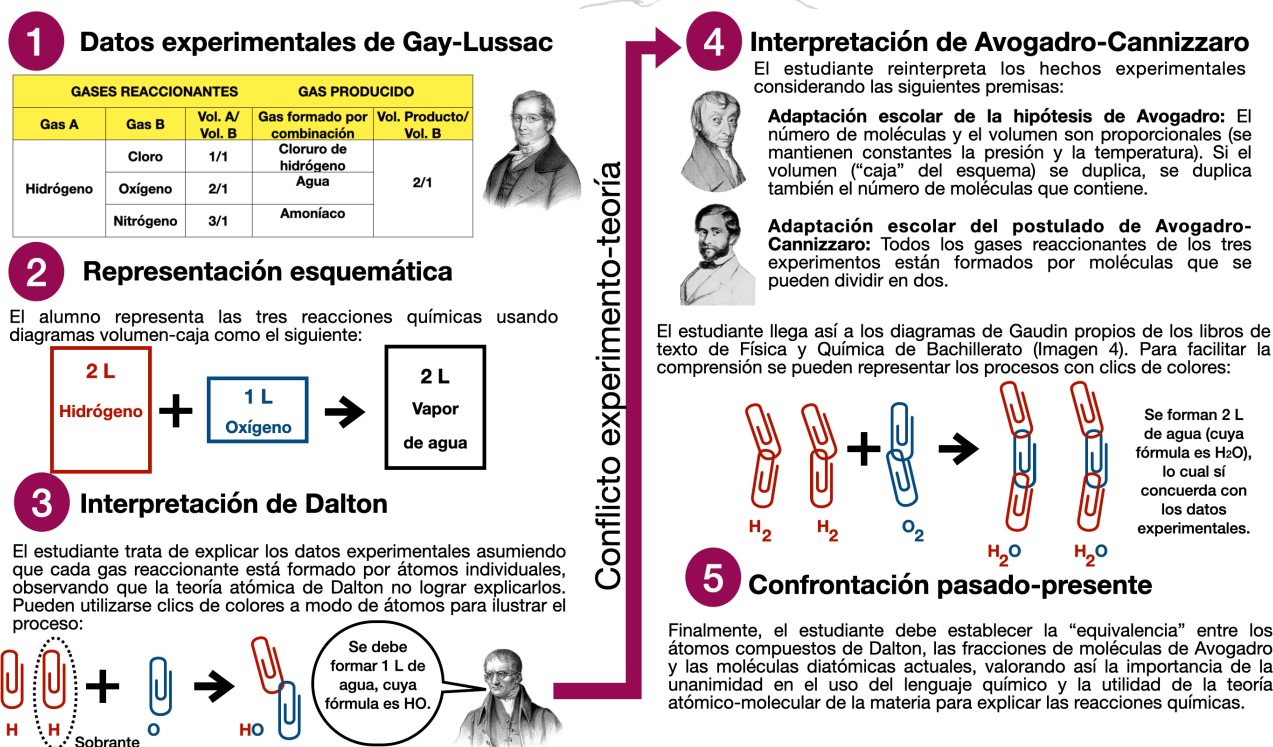


Figura 3. Secuencia didáctica para el abordaje de la teoría atómico-molecular en 4.º ESO y/o 1.º Bachillerato incorporando su desarrollo histórico. Fuente: Elaboración propia.⁸

Bibliografía

- Chamizo, J. A. (2025). Moléculas mononucleares o átomos en la enseñanza de la química. *Anales de Química*, 121(3), pp. 173-178.
- Bensaud-Vincent, B., Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Brock, W. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza.
- Moreno Martínez, L., Calvo Pascual, M. A. (2018). ¿Cómo presentan la historia de la química los libros de texto de Educación Secundaria? Un análisis desde la didáctica y los estudios históricos de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), p. 1101.
- Mieli, A. (1947). *La teoría atómica química moderna*. Buenos Aires: Espasa Calpe.
- Aragón De la Cruz, F. (2004). *Historia de la Química*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Muñoz Bello R.; Bertomeu Sánchez, J. R. (2003). La historia de la ciencia en los libros de texto: la(s) hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), pp. 147-159.
- Moreno Martínez, L. (2026). El largo camino en la aceptación del atomismo. De Dalton al congreso de Karlsruhe. Implicaciones para la enseñanza de la teoría atómico-molecular. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 124, pp. 32-42.

Luis Moreno Martínez
IES Enrique Tierno Galván (Parla, Madrid)
GEDH, RSEF-RSEQ
luis.morenomartinez@educa.madrid.org

Temas de Física y Química

Conociendo los aditivos alimentarios: el azúcar · José María Hernández

Se designa como azúcar a la sacarosa ($\Delta H_f = -2221,2 \text{ kJ/mol}$), también denominada azúcar común o azúcar de mesa. Se trata de una sustancia sólida, cristalina, perteneciente al grupo químico de los glúcidos, también calificados, impropriamente, carbohidratos o hidratos de carbono, puesto que estas moléculas no son átomos de carbono hidratados. Este nombre proviene de la nomenclatura del siglo XIX, ya que las primeras sustancias aisladas de esta especie molecular, respondían a la fórmula elemental $C_n(H_2O)_n$, siendo n (n° entero) ≥ 3 . Posteriormente, se demostró que no lo eran, error en el que se sigue incurriendo y que se admite por tradición. La palabra glúcido proviene del griego, *glykys*, que significa «dulce», y el sufijo *ido*, «derivado de». Dentro de los glúcidos, la sacarosa es un disacárido, porque su estructura está compuesta por dos moléculas de monosacáridos: glucosa (también dextrosa, $\Delta H_f = -1271 \text{ kJ/mol}$) y fructosa (además, conocida como azúcar de frutas o levulosa, $\Delta H_f = -1266,0 \text{ kJ/mol}$). Es un compuesto de color blanco en estado puro, densidad $1,583 \text{ g/cm}^3$, soluble en agua y en alcohol etílico y de sabor muy dulce. Por esta característica se la califica como edulcorante, es decir, una sustancia que endulza cualquier producto. La sacarosa está presente en la mayoría de los vegetales pero se extrae, esencialmente, de la caña de azúcar y de la remolacha, aunque también es biosintetizada en cierta cantidad, por el sorgo y el arroz azucarero. El azúcar es el producto orgánico natural más abundante en la naturaleza. Según su estado de pureza y refinación, se distinguen diversas clases: azúcar blanco, amarillo, moreno, flor de azúcar, azúcar mascabado, azúcar glas, azúcar de lustre, etc. Hay que señalar que el color «moreno» que presenta cierto azúcar, se corresponde con una película de impurezas inofensivas para la salud, que contiene minerales y vitaminas, el cual le otorga el color y sabor característicos. La caña de azúcar suele tener un 10-20% en peso de sacarosa y entre un 75-90% del jugo extraído. En ámbitos industriales se utiliza la palabra azúcar o azúcares para designar los diferentes monosacáridos y disacáridos que tienen sabor dulce, aunque por extensión se refiere a todos los glúcidos. El sabor dulce es la causa de su extenso consumo pero, su abuso, perjudica a la salud, como se verá posteriormente.

Sacarosa, una molécula fundamental en nuestro día a día

La sacarosa tiene de fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$. Cristaliza en prismas hemihédricos del sistema monoclinico. Funde sobre 160°C y, por encima de esta temperatura se carameliza, lo que se utiliza en repostería. Es un proceso de oxidación en el que se liberan compuestos volátiles de olor agradable y el sabor dulce inicial se acentúa. A la vez, cambia a color amarillo y, posteriormente, a marrón oscuro, donde coexisten más de un centenar de productos distintos. Si se continúa la calefacción, se carboniza, pasando a color negro. El poder rotatorio o rotación óptica es $[\alpha]_D^{20} = +66,5^\circ$. Se dice que es dextrógira, porque desvía el plano de la luz polarizada, en el polarímetro, hacia la derecha, y se le concede el signo positivo. Si lo hiciera hacia la izquierda, sería levógira y el signo sería negativo. El subíndice D se refiere a la frecuencia de dicha raya del espectro luminoso del Na, con que se realiza la medición. Una propiedad singular de la sacarosa es que se comporta como triboluminiscente (del griego *trevein*, frotar y del latín *lumen*, luz) es decir, produce luminiscencia mediante una acción mecánica.

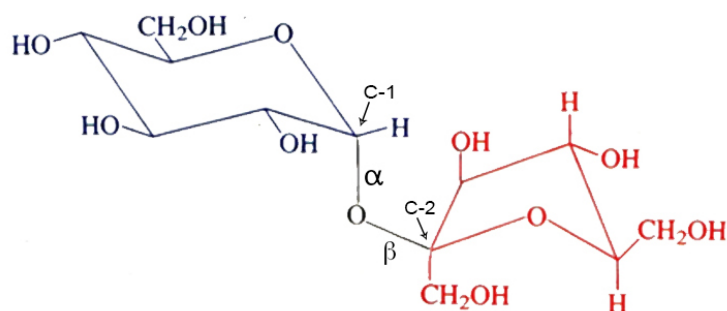


Figura 1. α -D-(+)-Glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-(-)-Fructofuranósido.

Fuente: Modificada Vollhardt, K. P. C. Química Orgánica (Editorial Omega, 1990).

Las células de nuestro organismo necesitan glucosa que, mediante determinadas reacciones químicas, consiguen la energía necesaria para ciertos procesos inherentes. Además es necesaria para la nutrición celular, sobre todo en aquellas células más vulnerables, como las cerebrales que, en déficit de glucosa, pueden sufrir daños irreversibles. Sin embargo, hay que tener en consideración que la sacarosa en los fluidos corporales, se hidroliza rápidamente y libera glucosa. Si la cantidad es excesiva en la sangre, se rompe el equilibrio y en aquellos organismos donde la insulina no se genere normalmente puede producirse hiperglucemia y, extremadamente, coma glucémico. Así mismo la ingesta excesiva de azúcar, tiende a disminuir el pH sanguíneo, ligeramente alcalino. El organismo tiende a equilibrarlo y recurre a reservas naturales del cuerpo humano que poseen cierto carácter básico, como el hierro de la sangre, el magnesio y zinc de las células cerebrales, etc. Este proceso puede incidir en la aparición de un incierto número de patologías. Por otra parte, se debe advertir que nuestro organismo puede subsistir,

perfectamente, sin la ingestión de azúcar. Así pues, no se encuentra argumento alimenticio alguno que respalde la presencia de azúcar en nuestra dieta. Sin embargo, hay que reconocer que degustarla en productos culinarios, es un placer.

Una historia azucarada

Etimológicamente, la palabra azúcar (sacarosa) viene del sanscrito *sharkara*, de *çarkara*, que significa arenilla, ya que llamaban así al polvo blanquecino de la caña de azúcar. Los persas la transformaron en *sakar*; los griegos tomaron el término persa y lo variaron a *sakjar*. A su vez, los árabes al vocablo griego lo llamaron *al-sukkar*; y posteriormente el árabe-hispano, *assúkar*; de donde deriva la denominación actual. Perteneció al género *Saccharum*, nombre latino propuesto por Linneo, que significa azúcar. El cultivo de la caña de azúcar se ha producido en el subcontinente indio desde la antigüedad, se estima que, aproximadamente, desde los años 5000 - 4500 a . C. No era abundante ni barata y, por esta razón, se utilizaba la miel para endulzar los alimentos en casi todo el mundo conocido. La caña de azúcar es una especie vegetal nativa de los trópicos, en Asia meridional y el sudeste asiático. Las diferentes especies de caña de azúcar, *Saccharum barberi*, *S. officinarum* y *S. edule*, son provenientes de la India la primera y de Nueva Guinea, las últimas. Una de las referencias históricas más antiguas de la caña de azúcar, se encuentra en manuscritos chinos del siglo VIII a.C., que afirman que su origen está en la India. La caña de azúcar no cobró importancia hasta que en India descubrieron métodos que convirtieron el jugo de la caña en cristales granulados, que eran más fáciles de almacenar, conservar y transportar. Al respecto, se han descubierto cristales de azúcar de la época de la Gupta Imperial, alrededor del siglo V d.C. El formato de azúcar en terrones se inventó en Moravia, en 1843. Consiste en introducir en moldes el azúcar granulado y someterlo a la acción del vapor de agua bajo presión. Posteriormente en Alemania, se perfeccionó el método y la patente fue adquirida por Reino Unido en 1872.

Los marineros indios, que llevaban mantequilla y azúcar como alimentos, difundieron el conocimiento del uso de esta sustancia por las diversas rutas comerciales que transitaban y explotaban. Los monjes budistas en sus viajes, transfirieron los métodos de cristalización del azúcar a China. A raíz de entonces, se cultivó dicho vegetal y se explotó con la tecnología exportada de India. De estas latitudes pasó a oriente medio. Cuando las tropas de Alejandro Magno llegaron al valle del Indo, observaron a los indígenas cultivar la caña y elaborar un dulce granulado (*sharkara*). En su viaje de regreso, el ejército macedonio se llevó «cañas de miel». Existen referencias que postulan la expansión del azúcar, también, siguiendo las rutas de la seda y del papel (inventado en China). Su cultivo en Europa se mantuvo poco conocido durante más de un milenio. Era un bien escaso y los comerciantes se enriquecían a su costa. Los cruzados, de sus campañas en Tierra Santa, trajeron el azúcar a Europa, la «sal dulce», que encontraron en las caravanas. A principios del siglo XII, Venecia adquirió algunas aldeas próximas a Tiro, y estableció fincas para cultivar caña de azúcar y exportar el producto a Europa, donde se complementaba con la miel que, hasta entonces, había sido el único endulzante disponible. Se describió como un «producto muy necesario para el uso y salud de la humanidad».

En 1492, en su viaje hacia las Indias occidentales, Colón se detuvo en la isla de la Gomera para cargar provisiones, pero, además, tomó cañas de azúcar que fueron las primeras en llegar a América. Los portugueses la plantaron en Brasil. Entre 1500 y 1540 el cultivo de esta planta se había extendido por Brasil, Cuba, Jamaica, La Española, etc. y en consecuencia surgió la industria azucarera, que demandaba mucha mano de obra e influyó poderosamente en el mercado de trabajadores esclavos en diversas partes del mundo, especialmente en África, pero también en Asia. Hay que reconocer que el cultivo de la caña de azúcar ha aportado desarrollo a muchos países de los trópicos. Son sus luces, pero también tiene sombras. Una de ellas ya se ha apuntado, la contribución a la esclavitud. La otra es el descontrol de los cultivos, debido a la agricultura intensiva, también de otras especies vegetales, como la palma (*Elaeis guineensis*) para la extracción de aceite o del género *Hevea* (de donde se extrae el látex que origina el caucho) y la participación en la desaparición de enormes extensiones selváticas y, con ello, de biodiversidad. Como dato inquietante, es necesario destacar que la mano del hombre es la responsable de la reducción selvática a un 20-30% de la superficie primitiva. En la isla de Borneo, en concreto, ha disminuido al 6% de la original. Se estima que, a este ritmo, en 2050 habrá desaparecido la selva.

El azúcar fue un lujo en Europa hasta el siglo XVIII. Se popularizó en el XIX, llegándose a considerar una necesidad. A comienzos del siglo XVII, concretamente en 1605, Olivier de Serres (1539 -1619) químico francés descubrió, y pasó casi desapercibido, un «jugo almibarado», principio azucarado, en la remolacha (del latín, *armoracia*, rábano silvestre), cuyo nombre científico es *Beta vulgaris* L. Hacia 1747, Andreas Sigismund Margraff (1709 -1782) químico alemán, publicó varios trabajos sobre la extracción del azúcar de la remolacha, que constituía, aproximadamente, el 6% en peso del vegetal tratado. En 1802, se construyó la primera industria azucarera en Silesia (Alemania). En 1812, se hizo lo propio en Francia. En España, no fue hasta 1877 cuando se levantó la primera azucarera en Alcolea (Córdoba). A partir de entonces, es decir, al final del siglo XIX, Europa comienza a tener como fuente de azúcar la remolacha, aunque Reino Unido siguió importando la mayor parte de su azúcar de las colonias (Caña de azúcar). En la actualidad, el 27% de la producción mundial de azúcar se obtiene de la remolacha y el 73% de la caña de azúcar. En España, el 99% de la sacarosa, se obtiene de la remolacha

Un final agrídulce

El consumo excesivo de azúcar afecta al hígado en forma de glucógeno. Cuando este órgano está saturado por el polímero glucídico, el exceso retorna a la sangre en forma de ácidos grasos que se difunden por todo el cuerpo, abdomen, nalgas, etc., afectando también a órganos vitales como el corazón y riñones. Al final, se convierte en grasa que aqueja a todo el organismo en general. Otra consecuencia de ello es la posibilidad de generar lo que se conoce como Síndrome Metabólico. Es un grupo de alteraciones fisiológicas que se presentan simultáneamente y aumentan el riesgo de enfermedad cardíaca, accidente cerebrovascular y diabetes

tipo 2. Estas afecciones incluyen el aumento de la presión arterial, niveles altos de azúcar en sangre, exceso de grasa corporal alrededor de la cintura y valores anormales de colesterol y triglicéridos. Fue descrito por vez primera por el Dr Gerald Reaven (1928-2018), en la Conferencia Banting (1988). En España, parece ser que el Ministerio de Sanidad y el Sector en cuestión, han firmado un acuerdo para reducir sal, azúcar y grasas en más de 3500 productos, pero de manera voluntaria, nada obligatorio, advirtiendo que es el consumidor el que compra y el que decide la dieta a seguir. Por otra parte, el exceso de consumo de carbohidratos refinados, triplica el riesgo de fracturas óseas. Así lo han demostrado científicos españoles del CIBER de la Obesidad y Nutrición: La ingestión de carbohidratos de alto índice glucémico es antagonista del calcio y se llega a los efectos antes mencionados.

La industria azucarera se ha esforzado e invertido muchos medios en señalar a las grasas como principales responsables de las enfermedades cardiovasculares. Una buena parte del debate científico sobre nutrición y enfermedades cardiovasculares estuvo financiado por el sector azucarero. En los años 50 y 60 del siglo pasado la industria azucarera sobornó a investigadores de alguna prestigiosa universidad e instituto de investigación de Estados Unidos, con el fin de culpar a las grasas de las enfermedades cardiovasculares, como precursoras del colesterol, sin hacer mención alguna sobre la incidencia negativa del azúcar en dichas patologías, salvo la caries. Apoyado en estos estudios H. Hass (1902-1987), presidente de la Sugar Research Foundation, intuyó un asombroso negocio. Efectivamente, el consumo de azúcar acabó disparándose en todo occidente. Sin embargo, a la vez, otros científicos, como el británico J. Yudkin (1910-1995), no compartían estas teorías y descartaban que la grasa fuera la única responsable de las enfermedades coronarias, considerando que otros factores, como la sacarosa, tenían al menos la misma importancia. Esta opinión podía suponer serios problemas económicos para la industria azucarera y J. Hickson (1921 -) propuso establecer un programa que se opusiera a las opiniones de Yudkin. Los resultados de los estudios en cuestión, sufragados por la industria azucarera, criticaron los trabajos que relacionaban al azúcar con las enfermedades cardiovasculares y resaltaban la importancia de las grasas. Fueron publicados en la prestigiosa revista *New England Journal of Medicine*. Se recomendaba, pues, una alimentación baja en grasas y el mercado se inundó de productos “light”, de baja concentración en grasas, las cuales, eran sustituidas por azúcar. M. Hegsted (1914 - 2009), uno de los investigadores, fue recompensado políticamente, llegando a ocupar el cargo de director de nutrición en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos. En los últimos tiempos, tanto la Asociación Americana del Corazón como la OMS, citan al azúcar como un factor de riesgo para contraer las mencionadas enfermedades. *The New York Times* publicó en su momento un artículo en el que señalaba a una poderosa multinacional de bebidas, por las grandes inversiones realizadas en estudios donde se minimizaban la relación entre bebidas azucaradas, la obesidad y otros problemas de salud. La Agencia *Associated Press* señaló, en su día, que la industria de la repostería había financiado trabajos científicos que asegurasen que, los niños que comiesen productos azucarados (golosinas, chocolatinas, etc.) pesaban menos que los que no lo hacían. En consecuencia, parece obligado que desde el sistema educativo se informe sobre los alimentos que son saludables, en cuanto a su composición, tanto en nutrientes como en aditivos, tanto al alumnado como a sus familias.

Bibliografía

- Barker, B. (1975) *Química Orgánica de los compuestos biológicos*. Editorial Alhambra.
Cabezas Fernández del Campo, J. A (1998). *Glicobiología. Antecedentes y evolución de su contenido*. Acto Académico de apertura del Curso 1993-94. Salamanca: Universidad de Salamanca.
Carey, F.A. (1999). *Química Orgánica*. Editorial McGraw-Hill.
Finar, I.L. (1966). *Química Orgánica*. (Vol. I), Editorial Alhambra.
Finar, I.L. (1970) *Química Orgánica*. (Vol. II.). Editorial Alhambra.
Hart, H.; Craine, L.; Hart, D.; Hadad, C. *Química Orgánica* (2007). Editorial McGraw-Hill.
Klages, F. (1968). *Tratado de Química Orgánica*. (Vol. III). Editorial Reverté.
Lain Entralgo, P. (2006). *Historia de la Medicina*. Editorial Elsevier-Masson.
Macarulla, J. M.; Goñi, F. M. (2002). *Biomoléculas: Bioquímica estructural*. Editorial Reverté.
Petrucchi, R.H.; Harwood, W.S.; Herring, F.G (2003). *Química General*. Editorial Pearson Prentice Hall.
Stryer, L.; Bert, J. M.; Tymoczko, J. L. (2003). *Bioquímica*. Editorial Reverté.
Vollhardt, K. P. C. (1990) *Química Orgánica*. Editorial Omega.

Nota del editor

Este artículo constituye una versión reducida con fines divulgativos y didácticos del artículo: Hernández Hernández, J. M. (2020) Aditivos alimentarios(II): azúcar. *Industria química*, 79, 112-123.

José María Hernández Hernández
Universidad de Salamanca
GEDH, RSEF-RSEQ
chemher@usal.es

Un poco de física del béisbol · José Antonio Martínez Pons

Aunque poco practicado en España, el béisbol es uno de los deportes más seguidos en Estados Unidos y en otros países americanos como Cuba. Haciendo abstracción de las reglas, a mi juicio muy complejas, los dos personajes más importantes en el juego son el lanzador o *pitcher* y el bateador. En el juego ambos jugadores se enfrentan y el lanzador, dirige la pelota a un tercer jugador de su equipo, el *catcher* (atrapador), para que la atrape. El bateador debe evitarlo golpeándola con su bate, lanzándola lo más lejos posible. El *pitcher* intentará por todos los medios conseguir que esto no ocurra, imprimiendo a la bola los efectos más complejos. El dominio del lanzamiento requiere habilidad y experiencia. También es compleja la tarea del bateador ya que la pelota (de 7,25 cm de diámetro) le llega a una velocidad de unos 44 m/s. Teniendo en cuenta que la distancia entre ambos antagonistas es de unos 18,5 m, la pelota llega al bateador en unos 0,45 s. Este es el tiempo del que dispone el bateador para dirigir el golpe. Considerando que el bate tiene unos 7 cm de diámetro máximo es clara la habilidad y los reflejos que debe mostrar un buen bateador. En categorías inferiores existen reglamentaciones que obligan al lanzador a que lance bajo y lentamente, pero en las categorías profesionales, prácticamente todo está permitido y se aprecian efectos extraños como vuelos de la bola casi en zigzag, brincos, desviaciones súbitas etc.

Los principios físicos en que tales exuberancias se apoyan son objeto de largas profundas y a veces acaloradas discusiones científicas. En la práctica, los lanzadores prefieren la técnica que impone a la pelota una trayectoria curva que permita al *catcher* atraparla, pero lejos del alcance del bateador. Sin embargo, en la trayectoria de la pelota no solo influye la gravedad y el rozamiento con el aire, también las condiciones iniciales dadas por el lanzador: velocidad inicial, ángulo inicial y giro de la propia pelota sobre su eje.

La pelota y su movimiento

El estudio del vuelo de las pelotas tiene sus orígenes en el propio Newton, quien en 1671 estudió la trayectoria de una pelota de tenis, constatando que la rotación de la pelota sobre sí misma tiende a curvar su trayectoria. Dos siglos más tarde Rayleigh citó al ingeniero alemán Gustav Magnus como primero en explicar esta desviación debida a la rotación de la pelota, hoy conocida como efecto Magnus. Antes que Magnus, cuyos trabajos se publicaron en 1853, Benjamín Robins ya había dado una explicación en 1742 semejante en su obra *New Principles of Gunnery*, un tratado de tiro artillero. También Magnus trabajó sobre proyectiles de cañón. Robins utilizó para sus experimentos un arma con el cañón ligeramente curvado de modo que al salir la bala esférica rozaba más con el lado opuesto al sentido de la curvatura, lo que le daba un giro sobre su eje. Por ejemplo, si el cañón estaba desviado hacia la derecha la bala rozaba con la cara izquierda del ánima lo que la hacía girar en sentido contrario a las agujas de un reloj y la desviaba hacia la izquierda, tal y como se aprecia en la Figura 1.

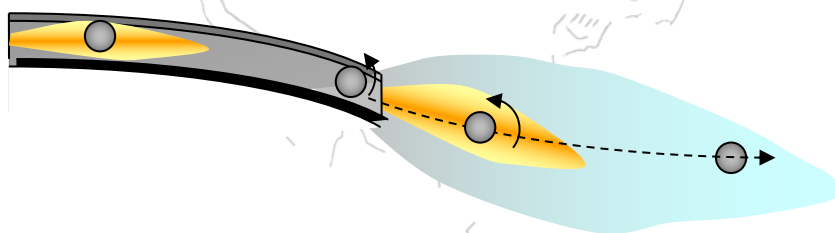


Figura 1. Esquema del fenómeno observado por Robins. Fuente: El autor.

La explicación que ambos autores dieron al fenómeno se basaba en un teorema demostrado por el suizo Daniel Bernoulli, según el cual en un fluido un aumento de velocidad implica una disminución de presión. Observado la Figura 2 se aprecia que en el punto *a* la velocidad relativa del aire en torno a la pelota es la velocidad de desplazamiento menos la de rotación, mientras que en *b* ocurre lo contrario en consecuencia la velocidad de la capa de aire próxima a la bola en *a* es menor que en *b*, lo significa que la presión en *b* es menor que en *a* y aparece una fuerza que tiende a desviar la pelota como indica la flecha. Es el llamado efecto Magnus, válido para todo cuerpo que se mueve en el seno de un fluido. Sin embargo, esta explicación no es completa. Hace falta tomar en consideración una delgada capa de fluido que se sitúa en torno a la pelota. Es la llamada capa límite, cuya importancia es grande en la mayoría de los fenómenos aerodinámicos y se debe a la viscosidad del fluido. La viscosidad representa la acción de las fuerzas de cizalla que actúan entre las capas de un fluido dotadas de velocidad distinta.

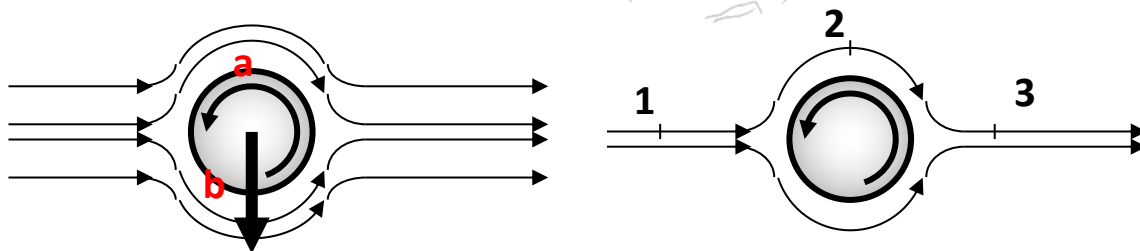


Figura 2. Explicación de la curvatura de la trayectoria por efecto Magnus (imagen izquierda) y representación del flujo en torno a la bola sin viscosidad (imagen derecha). Fuente: El autor.

Cuando un fluido se desplaza sobre un sólido, las moléculas de aquel más próximas a este forman una capa prácticamente inmóvil. No obstante, las capas siguientes van desplazándose progresivamente a mayor velocidad, como las cartas de una baraja. Si esta se inclina, cada capa roza con las adyacentes, de modo que las más rápidas arrastran a las más lentas. Hay un momento en el que la velocidad del fluido ya no se ve afectada por la presencia de la superficie sólida, momento en que la velocidad del fluido se denomina velocidad de corriente libre. La capa límite se sitúa entre la capa inmediata al sólido, prácticamente inmóvil y la zona de corriente libre. Es en esta capa donde las fuerzas de cizalla son más intensas. Normalmente tiene un espesor muy pequeño, pero fundamental para explicar el comportamiento de la pelota de béisbol.

En un caso ideal sin viscosidad, el aire en el punto 1 de la Figura 3 tendría una determinada velocidad que aumenta de modo que la presión en 1 es mayor que en 2. Si se supone un pequeño volumen de aire, su energía cinética ha aumentado, pero a partir del punto 2, el aire entre 2 y 3 va perdiendo la energía que ganó entre 1 y 2 y la presión en 3 es mayor que en 2. En caso de considerar la viscosidad del fluido, hay fuerzas de cizalla de modo que éstas se oponen a las fuerzas de presión descritas en el caso ideal, entre 1 y 2 pero se añaden a ellas entre 2 y 3, de modo que una partícula que ha franqueado el punto 2 se ve de repente frenada bruscamente, hasta el extremo que puede retroceder, aunque las fuerzas de la corriente libre acabarían por arrastrarla. En consecuencia, en la parte trasera de la bola, la capa límite «se desprende» de la pelota y se forma una estela bastante caótica con remolinos y vórtices; de modo análogo a lo que ocurre cuando una embarcación navega por el agua. En resumen, la presión en 3 es menor que en 1 y si la estela es simétrica, tiende a frenar la bola, pero si no lo es desvía la corriente de aire que se mueve hacia atrás. Si, para fijar ideas, se supone que el aire va de izquierda a derecha y la bola gira en el sentido contrario a las manecillas de un reloj, entonces el desprendimiento de la capa límite queda retardado en la parte superior de la bola y en cambio, se adelanta en la parte inferior, ello, evidentemente desequilibra la bola.

Una justificación sencilla del hecho es que la parte de la superficie sólida que gira en el mismo sentido en el que la corriente el rozamiento disminuye y el desprendimiento queda retardado, ya que el rozamiento viscoso es proporcional a la velocidad (o a su cuadrado, ahora no es el momento de discutirlo), mientras que en la parte en que el sentido es contrario el rozamiento aumenta y el desprendimiento ocurre antes de modo que entonces la estela se desvía hacia abajo. El fenómeno es semejante al que ocurre cuando se maneja el timón de una barca, si la pala se orienta de modo que el agua se desvía hacia la derecha, la popa del barco se desplaza hacia la izquierda, tal y como ilustra la Figura 3.

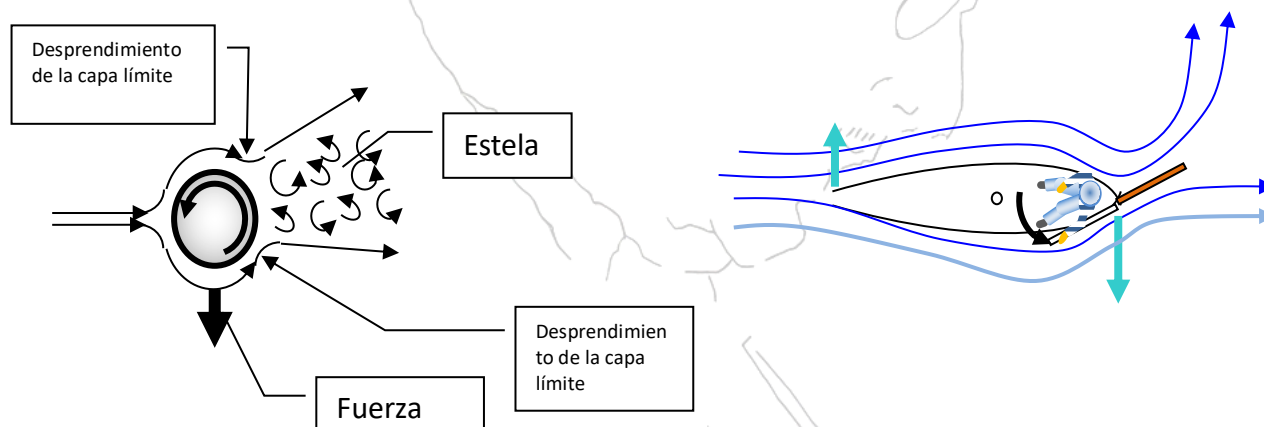


Figura 3. Esquema del procedimiento considerando la capa límite (imagen izquierda) y símil del timón de un barco (imagen derecha). Se observa que aparece un par que hace que el barco gire. En los barcos en los que el timón se maneja con una «caña», para girar hay que mover ésta en sentido contrario al sentido de giro deseado. Fuente: El autor.

En resumen, haciendo que la bola gire a derecha o a izquierda, el lanzador puede hacer que se desvíe hacia la derecha o la izquierda, por debajo o por encima de la trayectoria parabólica «natural». En cualquier caso, se trata de controlar de algún modo el desprendimiento de la capa límite, así por ejemplo el ingeniero alemán C. Weisselberger comprobó que se podía retardar el desprendimiento de la capa límite y la formación de la estela anudando un simple hilo en la parte de la esfera situada corriente arriba este hilo crea una serie de turbulencias que interaccionan con capas de fluido relativamente alejadas de la pelota y que arrastran la capa alrededor de la esfera. El control de la capa límite es la forma más sencilla de deformar la trayectoria y la habilidad del lanzador puede conseguir diferentes efectos, alguno de ellos ilegales... Entre ellos los más conocidos son.

- **Pelota mojada:** Se trata de conseguir que la pelota gire muy lentamente. Para ello el lanzador hace que sus dedos sean resbaladizos untándolos con vaselina o simplemente con saliva, incluso se puede «modificar» la misma mascando sustancias adecuadas. Por ejemplo, antaño los lanzadores mascaban una sustancia que se extraía del olmo y del cedro. Para lanzar comprime la pelota entre los dedos. Desde 1919 la pelota mojada está prohibida, ya que se considera que es muy difícil de controlar y por tanto peligrosa para el bateador.

- **Pelota de esmeril:** Se controla el desprendimiento de la capa límite frotando una parte de la pelota con un vidrio o papel de lija. Al ser distinta la rugosidad el comportamiento de la capa límite, varía de un lado al otro de la pelota. El lanzador dispara su pelota de modo que siempre la parte rugosa conserve la misma orientación. Entonces, la pelota se desvía en la dirección de la parte rugosa. Aunque también está prohibida -a más de un jugador los árbitros le han expulsado por encontrarle un pedazo de papel de lija en el bolsillo- la técnica se sigue empleando, para desesperación de los bateadores.
- **Pelota con efecto:** Es la técnica más utilizada. Para ello en general el lanzador lanza la pelota con las primeras articulaciones y no con la punta de los dedos. Al soltar la pelota se busca que los dedos no le den rotación hacia atrás (*backspin*). La pelota sale casi sin rotación, pero las propias costuras le dan una cierta asimetría, de modo que el desprendimiento queda adelantado o retrasado según la posición de estas costuras, que ejercen un efecto parecido al fenómeno estudiado por Weisselberger. Así si por ejemplo las costuras se dejan en la parte superior, la capa límite se desprende más atrás de modo que la estela queda desviada hacia arriba y la pelota hacia abajo. Como la orientación de las costuras admite infinitud de posibilidades cada una produce sus efectos particulares, por ejemplo, si se imprime a la pelota un leve movimiento de rotación de modo que la pelota en todo su vuelo dé unos tres cuartos de vuelta, entonces sufre una serie de variaciones en su trayectoria que semejan casi un movimiento en zigzag.

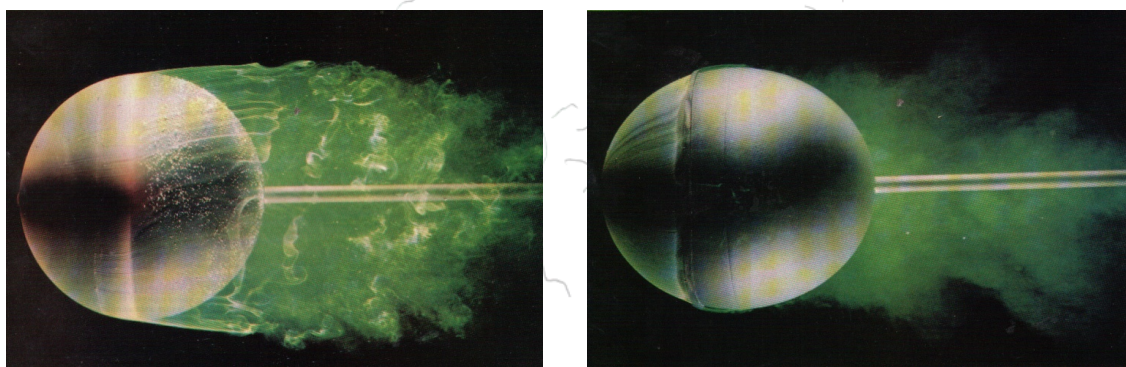


Figura 4. Bola desplazándose en el agua, advirtiéndose la estela de turbulencia (imagen izquierda) y la misma bola a la que se ha anudado un cordel, apreciándose ahora cómo ha cambiado la estela y cómo la capa límite se separa antes (imagen derecha).

Fuente: Mundo Científico n.º 81 (La física del beisbol, Robert G. Watts).

Estudios en el laboratorio

Al margen del empirismo y la habilidad varios investigadores han llevado la pelota de béisbol al laboratorio, estudiando su comportamiento en un túnel de viento, como Lyman Briggs en 1959. Para ello situó una pelota en el extremo de un eje vertical, mantenida por aspiración, protegida de la corriente por una jaula. Mediante un motor conectado al eje se le imprimió un giro controlado por un taquímetro estroboscópico. Alcanzado el régimen deseado se retiró la protección y se dejó la bola en caída libre de dos metros. Debido a la corriente la pelota se desvió, pero además según el sentido de la rotación se desviaba a un lado u otro del plano de caída vertical. Como resultado de sus experimentos, Briggs concluyó que la fuerza de desviación era proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación de bola por la velocidad de la corriente de aire ($F = k v \omega^2$).

Por su parte el célebre ingeniero ruso-americano Igor Sikorski (responsable en su país de origen de grandes aviones como el Ilia Muremez y ya en EE UU, del desarrollo de muchos helicópteros) realizó sus propios experimentos. Colocando la pelota sobre una punta fina unida a un pequeño motor, hacía girar la pelota y mediante una balanza medía las fuerzas que aparecían sobre la pelota. Sin embargo, no hay constancia de que publicara sus resultados en ninguna revista científica. Joseph Drydy afirma que encontró resultados semejantes a los de Briggs, pero en su caso la fuerza era proporcional a la velocidad de rotación por el cuadrado de la velocidad de la corriente de aire ($F = k v^2 \omega$). Por vía de comparación, tomado una pelota desplazándose a 35 m/s y 600 rpm se desviaría según Sikorsky entre 20 y 48 cm, según la orientación de las costuras, y según Briggs unos 15 cm. Hay que notar que mientras para Sikorsky las costuras son muy importantes, Briggs ni siquiera las menciona.

Uno de los teoremas clásicos en aerodinámica es el de Kutta -Joukowski, verificado experimentalmente con medidas efectuadas con cilindros en rotación, que dice que si un objeto se mueve en el seno de un fluido no viscoso con circulación no nula de la velocidad sufre una fuerza perpendicular al vector velocidad y al vector asociado al remolino de la circulación. Esto hace pensar que la dependencia teórica implica una proporcionalidad a la velocidad por la velocidad de rotación ($F = k v \omega$). Para pelotas de golf y operando de modo semejante, P.W. Bearman y J.K. Harvey concluyeron que la fuerza lateral era proporcional al producto de las velocidades. A fin de dejar zanjado el problema, Watts utilizó el túnel de viento para verificar una u otra conclusión, para ello ensartó bolas de béisbol en unas varillas de acero y las colocó sobre unos soportes de metacrilato en el seno de un túnel

aerodinámico. Suspendingo de la varilla masas conocidas es posible calibrar el aparato midiendo, con un aparato muy sensible, la deformación del soporte. Lanzando una corriente de aire constante sobre la bola se la hace girar y se mide la velocidad angular con un tacómetro estroboscópico. La deformación del soporte medida se debe al conjunto de dos fuerzas, la lateral y la de resistencia, para eliminar la segunda se realizaron dos medidas haciendo girar la bola en sentidos contrarios, obviamente la mitad de la diferencia correspondía a la fuerza lateral. Sorpresivamente se encontró que la fuerza lateral es independiente de la orientación de las costuras, contrariamente a lo que era creencia generalizada, sin embargo, a una velocidad de giro grande parece que la pelota de béisbol se comporta como una esfera rugosa uniforme. Para verificarlo el equipo de Watts realizó los mismos experimentos con una pelota del mismo tamaño y masa, pero sin costuras y obtuvo resultados semejantes y coincidentes con los resultados de P.W. Bearman y J.K. Harvey para pelotas de golf. Así pues, en el béisbol real la orientación de las costuras no sería determinante sino más bien la forma del lanzamiento. Si la pelota no gira, sin embargo, las cosas son algo diferentes. R. González, en 1968, midió las fuerzas de pelotas que no giraban en un túnel aerodinámico de la Universidad de Tulane, y en 1970 Watts y Sawyer repitieron los experimentos con más detalle, observaron que si se ponían las costuras simétricas respecto al flujo no había desviación, pero si se giraba incierto ángulo aparecían las fuerzas laterales descritas más arriba. Es más, encontraron que la intensidad de la fuerza es una función periódica con θ , el ángulo de desviación del plano de las costuras, así para $\theta = 30^\circ$, y para una velocidad de 20,7 m/s la fuerza lateral es de 0,45 N, hacia la izquierda mientras que para $\theta = 60^\circ$ la desviación es hacia la derecha, también con 0,45 N.

En resumen, es preferible que la pelota gire para que cambie de dirección durante el vuelo. Así una pelota «de efecto» que en su vuelo gira un cuarto de vuelta empieza por desviarse a la derecha y después lo hace hacia la izquierda, mientras que una que da media vuelta cambia tres veces de dirección. Sin embargo, la amplitud de la primera es mucho mayor que la de la segunda (por ejemplo, 30 cm frente a 7,5 cm). La razón es que la desviación en un movimiento acelerado depende del tiempo que la fuerza actúa sobre el móvil elevado al cuadrado, en el primer caso lo hace durante más tiempo que en el segundo. Si la fuerza varía con mucha rapidez, una velocidad de giro muy grande, entonces la bola prácticamente no variará su dirección.

Los lanzadores profesionales pueden lanzar las pelotas con una velocidad de unos 30-35 m/s en estos casos la fuerza lateral es de unos 0,5 a 10,25 N y se produce una desviación clara. Experimentado con pelotas *esmeril* se observa que la fuerza neta en el lado lijado es proporcional al cuadrado de la velocidad de lanzamiento. Resumiendo, la desviación de las pelotas de béisbol depende de la velocidad de lanzamiento y del número de vueltas que la pelota da en su trayectoria. Debido que los lanzadores profesionales pueden llegar a imprimir una rotación de más de 2000 rpm, una pelota lanzada a unos 38 m/s se desviará entre 0,6 y 0,8 m según la velocidad de rotación. El bateador no sabe exactamente si la pelota se desviará o no y si lo hace, en qué sentido lo hará y debido a la velocidad de la misma el bateador dispone de menos de medio segundo para intuir la trayectoria y lanzar el golpe. Ahí está precisamente la mayor dificultad de este deporte que tanta física esconde.

Bibliografía

- Watts, R. G.; Bahill, A. T. (1991). *Mantén la vista en la pelota: La ciencia y el folclore del béisbol*. Nueva York: Freeman.
- Watts, R. G.; Bahill, A. T. (2000). *Mantén la vista en la pelota: bolas curvas, bolas de nudillo y falacias del béisbol*. Nueva York: Freeman.
- McCabe, W. L.; Smith, J. (1981). *Operaciones básicas en Ingeniería Química*. Madrid: Reverté.
- Ronald V. G., Evett, J. B., Liu, C. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Madrid: McGraw-Hill.

José Antonio Martínez Pons
GEDH, RSEF-RSEQ
jamartinez46@gmail.com

Aulas Abiertas

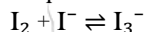
¿Se puede elegir el mejor arroz con química? Una propuesta experimental basada en espectrofotometría y el complejo yodo-almidón · José Juan Sirvent Carbonell

El arroz es uno de los alimentos más representativos de la gastronomía del levante español, especialmente en regiones como la Comunidad Valenciana y Murcia. En zonas como Alicante, los arroces constituyen un elemento esencial de la cultura culinaria, siendo fundamental la elección del tipo de arroz para obtener el resultado deseado en platos como arroces secos o caldosos. Desde el punto de vista químico, el comportamiento del arroz durante la cocción depende de su composición molecular, en particular de la proporción de amilosa y amilopectina en el almidón. Esta relación influye directamente en propiedades como la textura, la capacidad de absorción de agua y la estabilidad del grano. En este trabajo se presenta una propuesta experimental sencilla, reproducible en laboratorio de Bachillerato, que permite comparar distintos tipos de arroz mediante espectrofotometría. La práctica se basa en la formación del complejo yodo-amilosa y en la aplicación de la ley de Lambert-Beer, mostrando cómo la química puede utilizarse para interpretar y optimizar procesos cotidianos como la cocina.

Fundamento

El almidón es un polisacárido formado por unidades de glucosa y constituido por dos componentes principales: la amilosa (cadena lineal con estructura helicoidal) y la amilopectina (estructura altamente ramificada). La amilosa presenta una geometría helicoidal que permite la formación de complejos con determinadas especies químicas, mientras que la amilopectina, debido a su estructura ramificada, presenta un comportamiento distinto frente a la interacción con el agua y durante la cocción.

El yodo molecular presenta baja solubilidad en agua, pero en presencia de yoduro potásico se forma el ion triyoduro.



Este ion se introduce en la cavidad de la hélice de la amilosa, formando un complejo supramolecular de color azul intenso. Este fenómeno no es un simple cambio de color, sino el resultado de una interacción estructural entre el ion triyoduro y la amilosa. La intensidad del color generado es proporcional a la cantidad de amilosa presente en la muestra.

La absorbancia del complejo se mide a una longitud de onda cercana a 620 nm, correspondiente al máximo de absorción del sistema.

La relación entre absorbancia y concentración viene dada por la ley de Lambert-Beer: $A = \epsilon \cdot l \cdot c$, donde A es la absorbancia, ϵ es el coeficiente de absorción molar, l es el camino óptico y c es la concentración. Esta ley permite establecer una relación directa entre la absorbancia medida y la concentración de amilosa, posibilitando comparaciones cuantitativas relativas entre muestras.

Desarrollo experimental

Se analizaron tres tipos de arroz: Arroz comercial de marca blanca, arroz comercial de una marca conocida y arroz con denominación de origen. Se pesaron 75 g de arroz de cada tipo y se añadieron 400 mL de agua destilada. Las muestras se sometieron a cocción durante 20 minutos, simulando condiciones culinarias habituales. Tras el enfriamiento, las muestras se filtraron para obtener un extracto acuoso rico en almidón soluble. A partir del extracto obtenido se prepararon las siguientes diluciones:

Dilución	Volumen de extracto (mL)	Volumen final (mL)
D1	10	50
D2	8	50
D3	6	50
D4	4	50
D5	2	50

Tabla 1. Preparación de diluciones del extracto de arroz. Fuente: Elaboración propia.

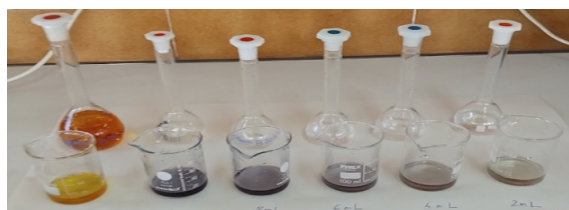


Figura 1. Formación del complejo yodo-amilosa en las muestras analizadas. Fuente: Elaboración propia.

El reactivo yodo-yoduro se preparó disolviendo: 0,50 g de KI con 0,020–0,025 g de I_2 en 100 mL de agua destilada. A 5,0 mL de cada dilución se añadieron 0,5 mL de este reactivo, produciéndose la formación del complejo azul yodo-amilosa, cuya intensidad es proporcional a la cantidad de amilosa presente. Se utilizó como blanco una mezcla de agua destilada y reactivo de yodo para corregir la absorción del yodo libre.

Las absorbancias se midieron a $\lambda = 620$ nm utilizando un espectrofotómetro.

MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
DILUCIÓN	ABSORBANCIA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA	DILUCIÓN	ABSORBANCIA
D1	0,34	D1	0,35	D1	0,11
D2	0,62	D2	0,55	D2	0,21
D3	1,01	D3	0,76	D3	0,31
D4	1,5	D4	0,95	D4	0,4
D5	-	D5	-	D5	0,5

Tabla 2. Absorbancias de las diluciones del extracto de arroz. Fuente: Elaboración propia.

Se representó la absorbancia frente a la fracción de extracto, obteniéndose rectas de calibrado para cada tipo de arroz que se recogen en la Figura 2.

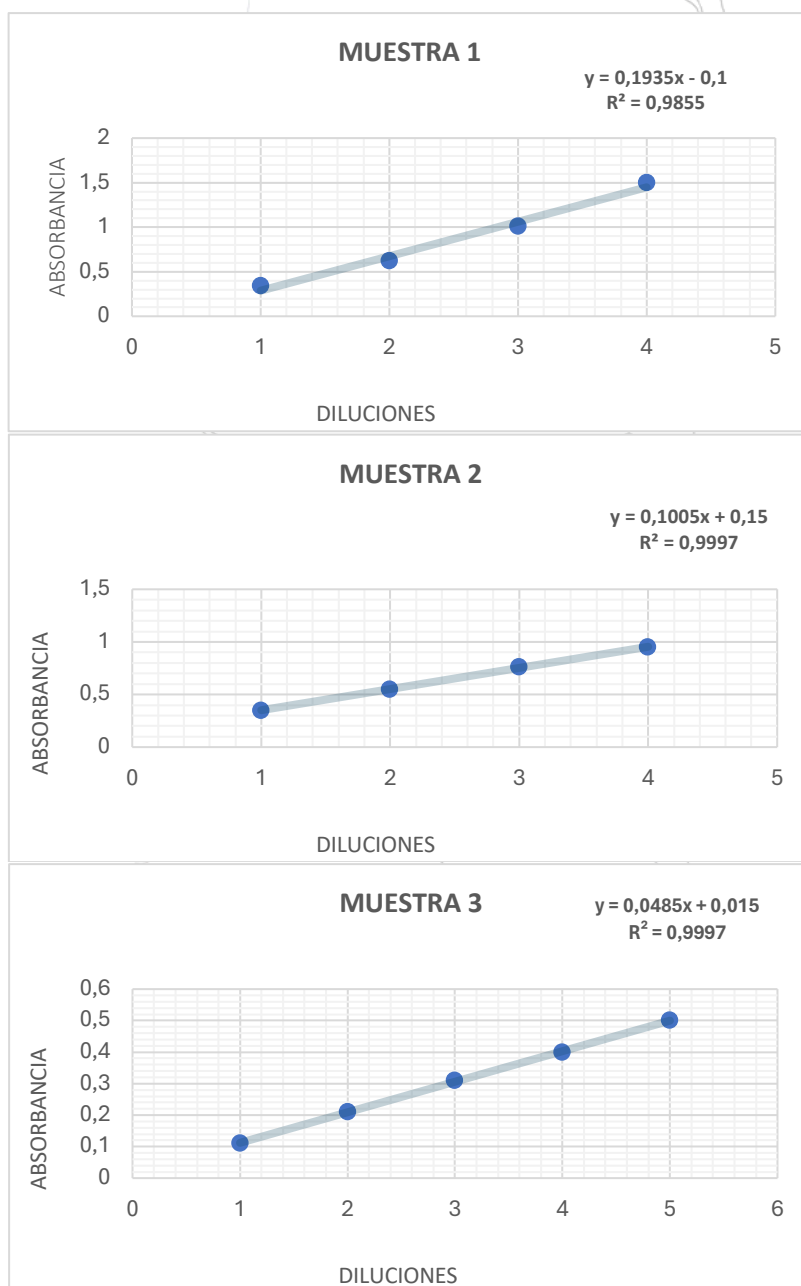


Figura 2. Rectas de calibrado de las tres muestras analizadas (absorbancia vs concentración relativa). Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Las gráficas obtenidas mostraron una relación lineal muy buena entre la absorbancia y la concentración, lo que indica que el sistema cumple la ley de Lambert-Beer en el intervalo de trabajo. Se observaron diferencias en las pendientes de las rectas correspondientes a cada tipo de arroz (Figura 3). El arroz con denominación de origen (muestra 3) presentó la menor pendiente, lo que indica una menor cantidad de amilosa accesible en el extracto. Este resultado implica una mayor proporción relativa de amilopectina, lo que influye directamente en el comportamiento del arroz durante la cocción. La estructura ramificada de la amilopectina favorece la retención de agua en el interior del grano sin provocar su ruptura. Este comportamiento se confirmó experimentalmente, ya que este arroz retuvo mayor cantidad de agua tras la cocción, manteniendo mejor su textura en comparación con los arroces comerciales analizados.



Figura 3. Muestras después de la cocción y filtración. Fuente: El autor.

La formación del complejo yodo-amilosa y su análisis espectrofotométrico permiten comparar de forma sencilla el contenido relativo de amilosa accesible en distintos tipos de arroz. Los resultados obtenidos muestran que el arroz con denominación de origen presenta una menor pendiente en la recta de calibrado, lo que indica una menor cantidad de amilosa accesible y, por tanto, una mayor proporción relativa de amilopectina. Desde el punto de vista culinario, esta composición favorece la absorción de caldo sin que el grano se rompa, permitiendo mantener su textura durante la cocción, lo que explica su idoneidad en la gastronomía del levante español. Este trabajo demuestra cómo la química permite comprender fenómenos cotidianos y aporta herramientas para tomar decisiones fundamentadas, incluso en la elección de alimentos.

Bibliografía

Damodaran, Srinivasan; Parkin, Kirk (2017). *Fennema's Food Chemistry*. Boca Ratón: CRC Press.
Skoog, Douglas A.; Holler, F. James; Crouch, Stanley R. (2014). *Principios de análisis instrumental*. Madrid: Cengage Learning.
Belitz, Hans-Dieter; Grosch, Werner (2009). *Food Chemistry*. Berlín: Springer.

Agradecimientos

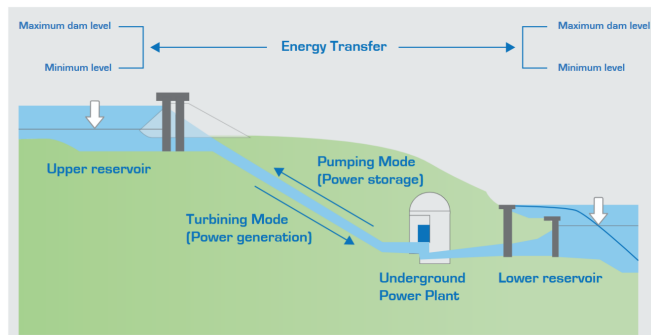
Este trabajo no hubiera sido posible sin la participación de las alumnas Cristina Díaz Cartagena, Ana Palazón García y Mar Solla Ribelles. Gracias por su implicación, entusiasmo y rigor durante el desarrollo de la experiencia experimental. Su actitud investigadora y su interés por comprender los fundamentos químicos han sido clave para la realización de este artículo.

José Juan Sirvent Carbonell
Colegio HH. Maristas Sagrado Corazón (Alicante)
josejuansc@maristasmediterranea.com

Aprender física con ejemplos reales: Las centrales hidroeléctricas reversibles en la educación secundaria

· Daniel Francisco Lois

La transición energética exige mayor uso de fuentes renovables, como la solar y la eólica, cuya generación depende de factores naturales y resulta difícil de gestionar. Para equilibrar oferta y demanda es fundamental contar con sistemas de almacenamiento a gran escala y económicamente viables. En este contexto, las centrales hidroeléctricas reversibles (también llamadas de bombeo) permiten almacenar energía como energía potencial al bombear agua desde un embalse inferior a uno superior, para luego recuperarla mediante turbinado (Figura 1).¹ Las siglas más empleadas para abreviar son CHB en español y PSH en inglés.



Para una introducción divulgativa con animaciones GIF se recomienda la página web de *The Conversation*.² Para profundizar en la tecnología, es de especial interés el trabajo de revisión realizado por Papadakis et al.³ La implantación de centrales CHB cuenta con el respaldo de la Agencia Internacional de la Energía y las noticias sobre proyectos de construcción o ampliación son frecuentes.^{4,5} Además, incidentes como el colapso del sistema eléctrico del 28 de abril de 2025 ponen de manifiesto la necesidad de disponer de sistemas de almacenamiento capaces de suministrar electricidad síncrona de forma casi inmediata, así como de otras infraestructuras que contribuyan a mejorar la estabilidad de la red.⁶

Figura 1. Carga en una central de bombeo. Fuente: EASE.¹

Características y utilidad de las CHB

El gran interés en las CHB se justifica por su fácil integración con centrales de generación renovable, permitiendo acomodar la intermitencia de la producción y facilitando su implantación. Contribuyen al balanceo de carga al trasladar la generación desde periodos de baja demanda hacia periodos de alta demanda, mejorando la eficiencia general de la red. Además, destacan por su alta capacidad de almacenamiento sin requerir elementos químicos estratégicos. Constituyen una tecnología madura y aportan estabilidad a la red eléctrica al responder rápidamente a las variaciones de oferta y demanda. Esto ayuda a mantener la tensión y la frecuencia, evitando apagones. Además, presentan una larga vida útil y un impacto ambiental reducido frente a otros sistemas de almacenamiento. La importancia de las centrales CHB en la estabilidad del sistema eléctrico se puede ilustrar con tres noticias recientes:

- 24-07-2021. Un incendio en Francia provocó la desconexión de la red peninsular. La pérdida de 2,5 GW importados produjo una caída de frecuencia que activó las protecciones automáticas de desconexión de consumos. El apagón afectó a más de 2 M de personas en la Península. Una mayor capacidad en las centrales de bombeo habría amortiguado significativamente el impacto.⁷
- 29-10-2024. Los daños en la red de alta tensión causados por la DANA obligaron a reducir la producción de la nuclear de Cofrentes para evitar una parada automática no programada, mientras que la central reversible de La Muela entró en operación a plena carga en pocos minutos.⁸
- 28-04-2025. Colapso por desconexiones en cascada debido a oscilaciones incontrolables por la elevada penetración de renovables sin respaldo de masa síncrona.⁹ Las CHB desempeñaron un papel clave en la recuperación del sistema.⁹ Se estima que su capacidad debería duplicarse para 2030.¹⁰

La Tabla 1 muestra los rangos de las características técnicas. Como referencia, una de las mayores centrales de bombeo de Europa es La Muela, utiliza como reservorio inferior el embalse de Cortes (curso del Júcar) y como reservorio superior un depósito excavado de 20 hm³. Entre ambos hay un salto de 520 m, que supone una reserva energética de unos 24 GWh.¹¹ Entre ambos reservorios se disponen dos centrales, La Muela I y II, con una potencia total de (634+880) MW en turbinación y (549+744) MW en bombeo. Adicionalmente, la presa de Cortes cuenta con una central hidráulica convencional (salto 116m, potencia instalada 290 MW.). El complejo Cortes-La Muela puede suministrar 1800 MW en turbinación y consumir 1293 MW en bombeo.

Potencia instalada	10 - 4000 MW
Capacidad de almacenaje	Hasta 100 GW·h
Tiempo de descarga	1-24+ h
Autodescarga	Despreciable
Ciclo de vida	Ilimitado
Tiempo de respuesta	s - min
Vida útil	> 80 años
Eficiencia total	70 - 85%
Densidad energética	0,5 - 3 W·h/kg
Inversión (CAPEX)	40-150 €/kW·h, 400-1500 €/kW

Tabla 1. Rangos de características técnicas. Fuente: EASE y Papadakis et al.^{1,3}

Los proyectos para incremento de capacidad en todo el mundo son numerosos, según datos de la IHA suman alrededor de los 600 GW de potencia en distintas fases de estudio o ejecución.¹² En España la capacidad actual es de 3,5 GW, con el objetivo de llegar a los 9,5 GW en 2030.¹³

Ecuaciones fundamentales

La energía potencial E_p almacenada por la masa de agua m en el reservorio superior se relaciona con la energía de entrada (consumida en el bombeo) según la ecuación: $E_p = mgh = \rho Vgh = \eta_b E_e$, donde g es la aceleración de la gravedad, h la diferencia de alturas entre los niveles de ambos reservorios y η_b es el rendimiento de bombeo. La energía de salida se calcula mediante la siguiente ecuación: $E_s = \eta_g E_p = \eta_g \eta_b E_e = \eta_{\text{global}} E_e$, donde η_g es el rendimiento de la generación, que tiene en cuenta las pérdidas energéticas en la turbina y el generador y η_{global} representa el rendimiento global del sistema. El rendimiento global oscila normalmente entre el 70 y el 85%;¹⁴ siendo el rango del rendimiento de bombeo, 85-92%, menor que el de generación, que puede estar en el rango 90-93% incluyendo turbina y generación. La explicación de las conversiones puede apoyarse en un diagrama de Sankey (Figura 2), el cual ayuda a visualizar las pérdidas aproximadas en las transformaciones energéticas.

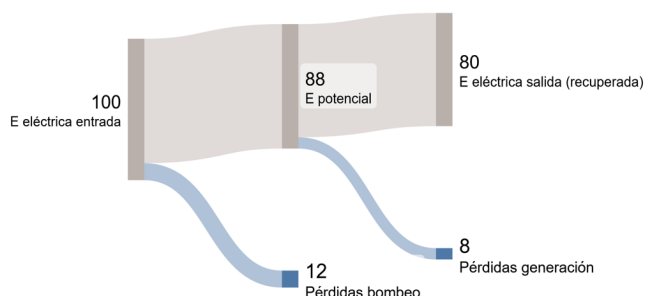


Figura 2. Visualización de los flujos energéticos y pérdidas de una central hidroeléctrica reversible en un diagrama de Sankey.

Fuente: El autor.

Toda instalación energética se proyecta con una capacidad de entrega de energía en un intervalo temporal determinado, su potencia nominal, que en las CHB está directamente relacionada con la diferencia de altura (o salto hidráulico h) y con el caudal circulante

$$Q: P = \frac{E_s}{t} = \eta_g \rho Qgh$$

Para dos instalaciones con idéntica potencia nominal y capacidad de almacenamiento energético, el volumen de agua a almacenar y el caudal requerido resultan inversamente proporcionales al salto disponible. Esto determina la inversión económica, la ocupación de superficie, el volumen de excavaciones y la extensión de obras subterráneas (túneles, galerías y conducciones). Los desniveles habituales oscilan entre 200 y 800 metros y se consideran óptimos los valores superiores a 400 m. Otro parámetro crítico para la viabilidad es la relación entre la longitud de la conducción y el salto (L/h). Ratios elevados incrementan los costes de construcción y disminuyen la eficiencia de operación al aumentar las pérdidas por fricción en el sistema. Valores inferiores a 5 son óptimos y entre 3 y 8 aceptables. Las condiciones geológicas del emplazamiento deben garantizar la estabilidad de las excavaciones subterráneas y la impermeabilización de los embalses. Condiciones geotécnicas desfavorables incrementan notablemente los costes de construcción. La preexistencia de al menos uno de los embalses resulta crucial al reducir la inversión y el impacto. Otro requisito es la proximidad a infraestructuras de red eléctrica de alta tensión. Distancias excesivas al punto de conexión implican inversiones adicionales significativas en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.

Potencial didáctico

La utilización de estas instalaciones como recurso educativo se justifica por las siguientes razones:

- **Relevancia y conexión con la realidad:** tema actual, con gran apoyo público y presencia en los medios, que permite vincular principios científicos con el entorno del alumnado mediante casos cercanos.^{15, 16}
- **Accesibilidad conceptual:** basado en principios sencillos, fomenta una actitud positiva hacia el aprendizaje y facilita el pensamiento crítico.
- **Fortalecimiento de la alfabetización científica:** como tema de referencia, facilita ejemplificar el razonamiento científico y su relevancia en la participación social y la toma de decisiones informadas.
- **Dimensión socioambiental:** conecta la ciencia con cuestiones sociales, ambientales y éticas y permite ejemplificar objetivos de PISA 2025 relacionados con la comprensión y la capacidad de actuar ante retos medioambientales.¹⁷
- **Versatilidad:** adaptable a todos los niveles de ESO y Bachillerato.

Resultados de la experiencia didáctica, valoración y propuestas de mejora

Se tomó como punto de partida una noticia publicada en diversos medios sobre un proyecto de construcción de una central CHB que aprovecharía un embalse existente en las proximidades del centro educativo.¹⁸ La actividad se desarrolló en dos grupos de 4º ESO con un total de 51 estudiantes, de los cuales el 61% eran alumnas. Tras una breve introducción en el aula, se propuso al alumnado un trabajo de investigación individual en el que debían buscar, analizar y sintetizar información para responder a un cuestionario estructurado en torno a tres ejes temáticos: los fundamentos científicos de estos sistemas de almacenamiento energético, su utilidad práctica en el contexto del sistema eléctrico actual y los posibles impactos ambientales asociados. El cuestionario se complementó con cuatro problemas de cálculo energético de nivel básico, incluyendo cambios de unidades y uso de factores de eficiencia.

En este tipo de actividades se pueden evaluar dos dimensiones complementarias: por un lado, el interés y motivación del alumnado, medidos a través del porcentaje de trabajos no entregados y el esmero en la presentación; por otro lado, el aprendizaje efectivo, evaluado mediante la comprensión conceptual, la coherencia en las respuestas sobre impacto ambiental y la resolución correcta de los problemas planteados. Los resultados se analizaron mediante el programa estadístico gratuito Jamovi.¹⁹ La tasa de entrega fue superior al 90%, sin diferencia significativa por género según el test exacto de Fisher. Un 86% de los trabajos entregados obtuvo una calificación superior a 7 sobre 10, resultado muy satisfactorio que evidencia comprensión adecuada de los contenidos. Al tratarse de un trabajo obligatorio es necesario considerar las no entregas (ceros) en el análisis. Las distribuciones de notas son no normales (test de Shapiro-Wilk), por lo que se empleó el test U de Mann-Whitney para la comparación de medianas (8,14 alumnas - 7,87 alumnos), siendo la diferencia no significativa por razón de género. En todo caso, si no se incluyen los ceros las distribuciones son normales y el test de student de comparación de promedios (8,41 alumnas - 8,02 alumnos) también indica que las diferencias no son significativas. Los datos no muestran, por tanto, evidencias de brecha de género en esta experiencia.

La introducción de este proyecto energético real permitió contextualizar eficazmente los contenidos sobre generación, almacenamiento y transformación de la energía, conectando el currículo con el entorno del alumnado. Como mejora, se propone incorporar un debate final para reforzar los conceptos clave y fomentar el pensamiento crítico. Para reducir la tasa de no entrega, aumentar la frecuencia de recordatorios sobre la fecha límite.

Se proponen algunas líneas de trabajo, organizadas en niveles de complejidad progresiva, que permiten su adaptación a diferentes cursos y grados de profundización:

- Trabajo con conceptos físicos fundamentales: fuente de ejemplos para contextualizar conceptos nucleares del currículo: la conservación de la energía; distinción entre energía primaria y secundaria; trabajo con diferentes unidades de energía y potencia facilitando la transición desde las unidades del S.I. hacia las cotidianas del sector eléctrico (kWh, MWh, MW, GW, etc.)
- Razonamiento cuantitativo y desarrollo de competencias científicas: el contexto de las PSH permite trabajar con estimaciones de Fermi (razonar con datos incompletos) y análisis dimensional (validar coherencia de ecuaciones), herramientas que desarrollan pensamiento científico auténtico pero que permanecen infrutilizadas en secundaria.
- Integración de renovables y almacenamiento energético: permiten analizar el papel de los sistemas de acumulación en la gestión de la variabilidad de las fuentes renovables y en el mantenimiento de la estabilidad del sistema eléctrico. La discusión puede ampliarse al estudio comparativo de diferentes tecnologías de almacenamiento (macrobaterías de ion-Li, baterías de flujo redox, CAES, etc.).
- Conexiones interdisciplinares: vincular con economía industrial, analizando cómo el precio y la disponibilidad de electricidad condicionan la competitividad de sectores electrointensivos y el desarrollo industrial y territorial.
- Proyecto experimental integrador: diseño y construcción colaborativa de un simulador de CHB en horas no lectivas. Integra conceptos cuantitativos trabajados y desarrolla competencias de diseño, construcción y análisis experimental.

Bibliografía

1. EASE - European Association for Storage of Energy- (2016). Pumped Hydro Storage. Mechanical Energy Storage: https://energystorageeurope.eu/wp-content/uploads/2016/07/EASE_TD_Mechanical_PHS.pdf (última consulta 07/02/2026)
2. Dargaville, R. (2019). Five gifs that explain how pumped hydro actually works. *The Conversation*: <https://theconversation.com/five-gifs-that-explain-how-pumped-hydro-actually-works-112610> (última consulta 07/02/2026)
3. Papadakis, C. N., Fafalakis, M. and Katsaprakakis, D. (2023). A Review of Pumped Hydro Storage Systems. *Energies*. 16 (11), 4516. <https://doi.org/10.3390/en16114516>.
4. Baztán, J. (2022). Centrales reversibles. *Jornada de Presas y Green Deal*. <https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2022/05/JGreenDeal20220428-Centrales-Reversibles-Javier-Bazt%C3%A1n.pdf>
5. Page, D. (2024). Las eléctricas lanzan una avalancha de proyectos para convertir embalses en 'superbaterías' por toda España. *El Periódico de España*: www.epe.es/es/activos/20240618/electricas-lanzan-avalancha-proyectos-convertir-10392707
6. GES&CIP - Gestión y Control Integral de Proyectos SL - (2025). Gran apagón histórico deja a oscuras a España tras colapso de la red (Informe técnico). Écija (Sevilla); 29 abril 2025
7. Roca, R. (2021). Un incendio produjo el apagón que dejó a millones de españoles sin luz durante una hora el pasado julio: así fueron los hechos. *El Periódico de la Energía*: <https://elperiodicodelaenergia.com/un-incendio-produjo-el-apagon-que-dejo-a-millones-de-espanoles-sin-luz-durante-una-hora-el-pasado-julio-asi-fueron-los-hechos/>

8. María, P. (2024). La cadena de decisiones que "en cuestión de minutos" evitó un apagón eléctrico de varios días en Valencia por la DANA. *El Mundo*: <https://www.elmundo.es/economia/empresas/2024/11/18/6731fee121efa01f218b4592.html>
9. Serven, R. (2025). La recuperación del gran apagón en España empezó en Riba-roja d'Ebre. *Diari de Tarragona*: <https://www.diaridetarragona.com/economia/231619/la-recuperacion-del-gran-apagon-en-espana-empezo-en-riba-roja-d-ebre-em23855540.html>
10. Guinaldo, S. (2025). Las centrales de bombeo, la renovable más eficaz para solventar 'apagones', debe duplicar su capacidad para 2030. *El Economista*: <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/13337722/04/25/las-centrales-de-bombeo-la-renovable-mas-eficaz-para-solventar-apagones-debe-duplicar-su-capacidad-para-2030.html>
11. Elipe, J.C. (2012) Refuerzo de potencia del Aprovechamiento de Cortes-La Muela: https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2020/08/III_ITPB_20130207_06_Juan_Carlos_Elipe.pdf (última consulta 07/02/2026)
12. IHA - International Hydropower Association- (2025). Pumped Storage Hydropower. Water batteries for the renewable energy sector: <https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage> (última consulta 07/02/2026)
13. IHA - International Hydropower Association- (2025). Policy Frameworks for PSH development: <https://indd.adobe.com/view/0381feeb-1e80-435f-b021-e373dc8e4bf0> (última consulta 07/02/2026)
14. Mongird, K., Viswanathan, V., Alam, J., Vartanian, Sprenkle, V. and Baxter., R. (2020). Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy Publication No. DOE/PA-0204: <https://www.energy.gov/energy-storage-grand-challenge/downloads/2020-grid-energy-storage-technology-cost-and-performance>. (última consulta 07/02/2026)
15. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2024). Resolución por la que se aprueba la concesión de ayudas correspondientes a la primera convocatoria de ayudas para proyectos innovadores de almacenamiento mediante bombeo reversible, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - Financiado por la Unión UE - Next GenerationEU: https://sede.idae.gob.es/sites/default/files/documentos/2024/almacenamiento/381_boralmac_resoluciondefinitiva_adjudicacion.pdf
16. Extracto de la Resolución de 23 de diciembre de 2025, del Consejo de Administración de E.P.E. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), M.P. por la que se aprueba la segunda convocatoria de ayudas para proyectos innovadores de almacenamiento mediante bombeo reversible en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - Financiado por la UE - Next GenerationEU.«BOE» núm. 3, de 3 de enero de 2026, páginas 234 a 235 (2 págs.) BOE-B-2026-125 <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-B-2026-125>
17. White, P., Ardoin, N., Monroe, M. C. (2023). Agency in the Anthropocene - supporting document to the PISA 2025 Science Framework. OECD Education Working Papers No. 297: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/06/agency-in-the-anthropocene_b5843618/8d3b6cfa-en.pdf (última consulta 07/02/2026)
18. Maciejewski, D. G. (2022). El Atazar podría acoger la primera gran central hidráulica de bombeo de la Comunidad de Madrid. *El Español*: https://www.elespanol.com/enclave-ods/historias/20220202/atazar-podria-primera-central-hidraulica-comunidad-madrid/646935595_0.html
19. *The jamovi project (2025), Version 2.6 Software gratuito de análisis estadístico*: <https://www.jamovi.org/download.html> (última consulta 07/02/2026)

Daniel Francisco Lois
IES Cortes de Cádiz (El Molar, Madrid)
dfranciscolois@educa.madrid.org

Tres ejemplos de cómo aprovechar relatos de mitos para presentar experimentos de química · Josep Corominas Viñas

Desde los orígenes de la civilización, las leyendas y los mitos, pero también los libros sagrados de las diversas creencias, han inspirado a autores y artistas a ilustrarlos con pinturas, esculturas y relatos escritos. En épocas más recientes, los grandes avances científicos han sido motivo para que conocidos escritores desarrollen relatos de ficción inspirados en lo que podemos clasificar como los nuevos mitos de la ciencia. El propósito de este artículo es ilustrar mediante experimentos de química tres relatos extraídos de la mitología griega, de la Biblia y de una conocida novela de Jules Verne. Mediante breves lecturas introductorias, se ofrece a los estudiantes de secundaria, la posibilidad de conocer relatos que forman parte de nuestra cultura, pero a menudo desconocidos y al profesorado disponer de unos experimentos que pueden usar tanto para contextualizar el relato como para trabajar en el aula conceptos importantes de química como reacciones de combustión, electrolisis, precipitación y cristalización. Es evidente que se pueden encontrar miles de relatos en las mitologías occidentales y orientales, así como en novelas de ciencia ficción.¹ A título de ejemplo, en este artículo, por su limitada extensión se detallan tres.

Mito: Zeus, toma la forma de una lluvia de oro para dejar embarazada a Danae.

Experimento: Obtención de cristales de yoduro de plomo en un gel, formando una «lluvia de oro»

En la antigua Grecia, hace muchos siglos, había en la ciudad de Delfos un oráculo. Se trataba de una persona que era capaz de dar respuestas a consultas sobre el futuro. Antes de cualquier gran evento, reyes y líderes consultaban las previsiones de los oráculos. El oráculo de Delfos era el más famoso y los sacerdotes y sacerdotisas respondían las preguntas en el templo en forma enigmática y repleta de simbolismos. El Oráculo de Delfos profetizó que el rey Acrisio de Argos (en Grecia) moriría a manos de su nieto, hijo de su hija Danae. Para evitarlo, encarceló a Danae en una «cámara de bronce». Así, aislada de todos, no podría concebir ningún hijo. Sin embargo, Zeus, el dios más importante del Olimpo, se le acercó tomando la forma de lluvia de oro y concibió a Perseo, quien más tarde mató a su abuelo, Acrisio aunque de forma accidental. En la Edad Media, este mito se consideraba una referencia a la Anunciación de la virgen María. Jan Gossaert (Figura 1) fue uno de los primeros artistas en reavivar el contenido erótico original de este tema.²



Figura 1. *Danae*. Jan Gossaert (1527).
Fuente: Alte Pinakoteke, Munich.

Del mito al experimento:

Un gel es un sistema coloidal donde la fase continua es sólida y la dispersa es líquida. El gel descrito en este experimento, se forma al mezclar disolución de silicato de sodio, Na_2SiO_3 con disolución de ácido etanoico (o acético)

Material:

- Tubos de ensayo de volumen aproximado 20 cm^3 con su tapón en una gradilla
- Cuentagotas
- Probeta de 10 mL
- Silicato de sodio, disolución comercial, Na_2SiO_3 ; densidad $1,3\text{ g/mL}$
- Disolución de ácido acético 1 M
- Disolución de nitrato de plomo (II), $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1 M
- Disolución de yoduro de potasio, KI 2 M
- Guantes

Procedimiento:

El silicato de sodio comercial se vende en disolución concentrada de densidad aproximada $1,3\text{ g/cm}^3$, se tiene que diluir hasta tener una densidad de $1,02\text{ g/cm}^3$, para hacerlo mezclar un volumen de la disolución comercial con 4 volúmenes de agua destilada. Si se usan tubos de ensayos estándar de volumen aproximado 20 cm^3 , en un tubo de ensayo se ponen 17 gotas de nitrato de plomo (II), 1 M y se añaden 8 cm^3 de la disolución de ácido acético 1 M y 8 cm^3 de la disolución diluida de silicato de sodio. Pasadas 24 horas ya está formado el gel.

Cuando se ha formado el gel, se ponen a la parte superior 2 cm^3 de disolución de KI 2 M. Tapar el tubo. Se forma un precipitado de yoduro de plomo (II), muy lentamente, de manera que se obtienen cristales de color amarillo de PbI_2 en forma de hexágonos planos y de triángulos (Figura 2)

Seguridad:

Disolución de nitrato de plomo (II), $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
Nocivo en caso de ingestión o inhalación



Figura 2. Cristales de PbI_2 en forma de lluvia dorada. Fuente: Elaboración propia

Mito: El festín de Baltasar o la mano que escribió en la pared. Experimento: Electrolisis de una disolución de NaCl

En el libro de la Biblia, Daniel se describe un gran banquete que el rey Baltasar, hijo de Nabucodonosor, dio en su palacio de Babilonia:³

Durante la comida, el rey y sus invitados bebieron mucho vino. Excitado por el vino, el rey Baltasar mandó traer las copas y tazones de oro y plata que su padre Nabucodonosor se había llevado tras el saqueo del templo de Jerusalén. Todos bebían vino y alababan a sus ídolos. En aquel momento apareció una mano que, comenzó a escribir con el dedo sobre la pared blanca de la sala las palabras siguientes: MENÉ, MENÉ, TEQEL, UFARSIN. Al ver el rey la mano que escribía (Figura 3), se puso pálido y, del miedo que le entró, comenzó a temblar de pies a cabeza. Luego se puso a gritar y llamar a los adivinos, sabios y astrólogos de Babilonia y les dijo:

“El que lea lo que ahí está escrito, y me explique lo que quiere decir, será vestido con ropas de púrpura, llevará una cadena de oro en el cuello y ocupará el tercer lugar en el gobierno de mi reino”.

Ninguno de los astrólogos supo interpretar el escrito. Entonces la reina recordó a Baltasar que, en Palacio había un hombre con la sabiduría de los dioses, un espíritu superior de ciencia e inteligencia con la facultad de interpretar los sueños. Este hombre era el profeta Daniel. Llamaron a Daniel, quien se dirigió a Baltasar con las siguientes palabras:

“Te has alzado contra el Señor de los cielos. Tu y tus mujeres y prostitutas habéis bebido vino en las copas traídas del templo de Jerusalén. La escritura dice: MENÉ: Dios ha puesto fin a tu reino; TEQEL: en la balanza de la vida, no has dado el peso requerido; URFASIN: tu reino ha sido roto y dado a los medos y persas.”
(Adaptado y condensado de Daniel 5. 1-28)



Figura 3. El festín de Baltasar, Rembrandt (1635). En la pared aparecen las palabras en arameo, lengua hablada en Babilonia: מַעֲנֶה, מַעֲנֶה, טַעֲמָל, אֶפְרָסִין. Fuente: National gallery, Londres.

Esta misma noche murió Baltasar y su reino conquistado por Ciro (II), rey de Persia, aunque el relato bíblico dice que fue Darío.

Del mito al experimento:

En el experimento propuesto, la electrolisis de una disolución acuosa de sal común, lo que escribe no será una mano sino una punta metálica.

Material:

- Papel blanco A4 empapado con una solución de cloruro de sodio (10 g en 100 mL de agua) y fenolftaleína
- Papel de aluminio, hoja algo mayor que el papel blanco
- Pila de 9 V o fuente de alimentación c.c. 6 V o 9 V
- Cables de conexión con pinzas cocodrilo
- Electrodo de grafito o mina de lápiz

Procedimiento:

- Usar un cable con pinza para conectar el polo positivo de la pila al papel de aluminio
- Conectar otro cable del negativo de la pila al electrodo de grafito
- Pasar suavemente el electrodo de grafito sobre el papel para escribir las palabras que se quieran.

Explicación:

Es una electrólisis de una solución de cloruro sódico. Las reacciones son:

Cátodo(-). Semirreacción de reducción: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$

Ánodo(+). Semirreacción de oxidación: $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$

Reacción iónica global: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$

Los iones OH^- que se forman en el cátodo, que es el terminal libre que se pasa por encima del papel, son los responsables que el indicador fenolftaleína, vire al color rojo del medio básico. Como se puede ver, los iones sodio, Na^+ no se reducen, puesto que el potencial estándar de reducción del catión sodio Na^+ a Na es $E^\circ = -2,71 \text{ V}$, mayor (en valor absoluto) que el potencial de reducción del agua a hidrógeno ($E^\circ = -0,42 \text{ V}$). Por tanto, será el agua la que se reducirá en el cátodo y no los iones Na^+ . Usando otros indicadores se obtienen diferentes colores al escribir.⁴

Mito: La isla misteriosa de Julio Verne. Experimento: La pila de corriente constante de Cesar Becquerel

La novela del escritor francés Jules Verne (1828-1905) *La isla misteriosa*, cuenta la historia de cinco hombres y un perro que, durante la Guerra de Secesión estadounidense, logran escapar de un campamento enemigo en un globo aerostático. Una tormenta los hace caer en una isla desconocida del océano Pacífico. En la isla, los náufragos carecen al llegar de recursos, pero gracias a los conocimientos científicos y técnicos del líder e ingeniero, Cyrus Smith, el grupo logra sobrevivir demostrando el poder de la inteligencia, el trabajo en equipo y la ciencia aplicada. Entre otros inventos, consiguen hacer fuego, fabricar hierro a partir de minerales, vidrio usando cal, velas con sebo de los animales, pólvora y explosivos y un primitivo sistema de comunicaciones con pilas electroquímicas. A lo largo de la historia ocurren hechos misteriosos: ayudas inesperadas, objetos salvados de forma inexplicable y peligros evitados sin explicación aparente. Estos sucesos parecen indicar la presencia de un protector oculto en la isla. Más adelante, se revela que el protector secreto es el capitán Nemo, quien vive oculto en el submarino Nautilus, el mismo personaje de *Veinte mil leguas de viaje submarino*. Nemo muere poco después de revelar su historia y confiar sus secretos al grupo. Al final, consiguen salir de la isla, la cual queda destruida por una erupción volcánica.

En la novela, Jules Verne describe con numerosos detalles la obtención de diferentes sustancias químicas que facilitarían la vida de los supervivientes (Figura 4).

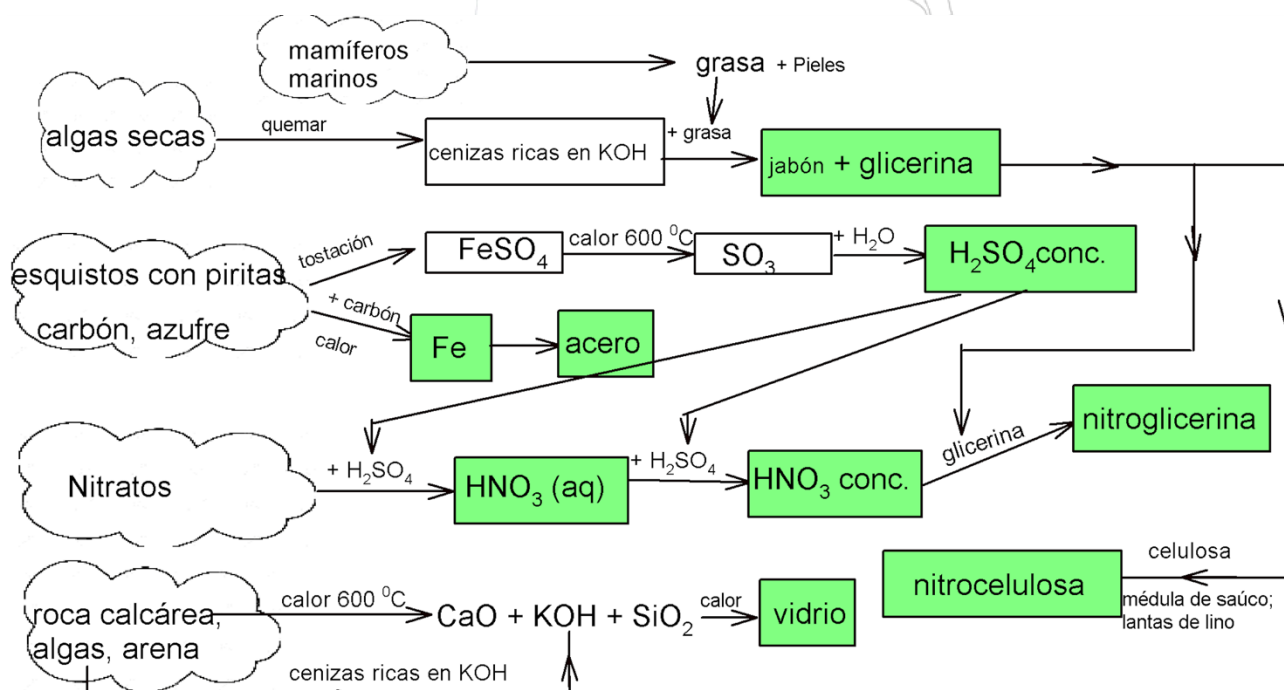


Figura 4. Los diferentes productos obtenidos en la isla. Fuente: elaboración propia.

Cyrus Smith conoce una pila electroquímica, diseñada y construida por Antoine Cesar Becquerel en 1829 (el abuelo de Henri Becquerel, descubridor junto a los esposos Curie de la radioactividad) llamada “pila de corriente constante”. A diferencia de la pila de Volta o de Daniell, utiliza un sólo metal, el zinc.⁵ La isla donde han ido a parar los náufragos, carece de minerales de zinc, pero un misterioso personaje, les va prestando ayuda, de manera que van apareciendo en las playas, cajas con herramientas, algunas armas y otros objetos útiles. Las cajas están forradas de zinc, para evitar el deterioro por la humedad. Es con este metal que Cyrus construye las pilas de Becquerel: Un recipiente cerámico lleno de ácido nítrico provisto de un tapón atravesado por un tubo de vidrio. El extremo inferior del tubo está tapado con arcilla porosa. El extremo superior del tubo lo llena con hidróxido de potasio. Una lámina de zinc se sumerge en el ácido y otra en la solución básica de KOH. Aunque no disponen de aparatos de medida, el conjunto proporciona una corriente continua constante suficiente, para que varios de estos elementos hagan funcionar unos timbres que comunican la cueva donde viven con unos corrales en los que mantienen diversos animales.

Material:

- Un recipiente de fango poroso pequeño, por ejemplo, una pequeña maceta
- Láminas de zinc (2)
- Solución de ácido nítrico 1 M
- Solución de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio 1 M
- Vaso de vidrio o plástico para poner dentro la pequeña maceta.
- Voltímetro
- Guantes y gafas de seguridad

Procedimiento:

- Poner la maceta dentro del vaso (de vidrio o plástico). Con precaución verter solución de ácido nítrico en el vaso, sin que entre dentro de la maceta.
- Verter después solución de hidróxido dentro de la maceta. Procurar que en ningún caso entre en contacto con la solución de ácido.
- Poner las láminas de zinc, una en contacto con el ácido y la otra con el hidróxido.
- Conectar cables de conexión a cada lámina y medir el voltaje con el voltímetro (Figura 5).

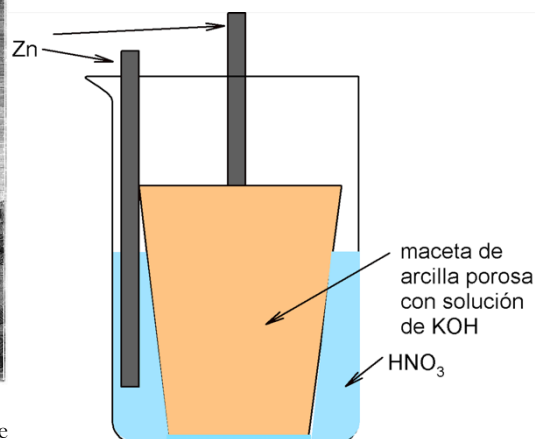
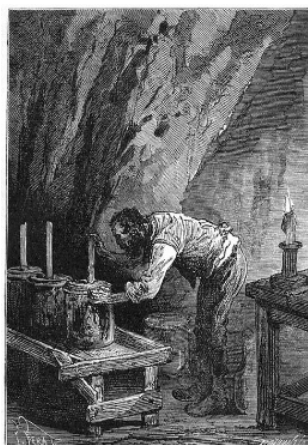


Figura 5. A la izquierda image pilas. A la derecha el montaje descrito en el procedimiento. Fuente: El autor.

Explicación:

Las reacciones en los electrodos son:

Ánodo (-). Semirreacción de oxidación: $\text{Zn(s)} + 4 \text{OH(aq)} \rightarrow [\text{Zn(OH)}_4]^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$

Cátodo (+). Semirreacción de reducción: $\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

Reacción iónica global: $2\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O(l)} + \text{Zn(s)} \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g}) + [\text{Zn(OH)}_4]^{2-}(\text{aq})$

Seguridad:

Disolución de ácido nítrico 1 M

En caso de contacto con la piel (o el pelo): enjuagar la piel con agua o ducharse.

En caso de contacto con los ojos: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.



Disolución de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio 1M

En caso de contacto con la piel (o el pelo): enjuagar la piel con agua o ducharse.

En caso de contacto con los ojos: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.



Conclusión

Estas actividades muestran cómo proponiendo un breve contexto, extraído de antiguos relatos o de conocidas novelas de ficción o de aventuras, se puede fomentar la lectura y el conocimiento de relatos que posiblemente son desconocidos por los estudiantes de secundaria, al mismo tiempo que pueden usarse para aplicar conceptos de química.

Referencias

1. Corominas, J. (2025) *Leyendas, mitos e historias ilustradas con experimentos de química y de física*. Aula Magna.
2. Wikipedia D. <https://es.wikipedia.org/wiki/D%C3%A1nae> (última consulta marzo 2026).
3. La Biblia (versión directa de las lenguas originales por Nacar y Colunga) (1977). Madrid: EDICA
4. Corominas, J. (2013) Així escriuen els químics, encara que no tinguin llapis ni bolígraf..." _Revista electrònica *Ciències. Revista del professorat de ciències de primària i secundària*, 25, pp.16-19. <https://revistes.uab.cat/ciencies/article/view/n25-corominas/88>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=OCf63pQrK-4> (última consulta marzo 2026).
6. Corominas, J., Caamaño, A. (2022) . De la pila Bagdad a una pila con un sacapuntas y una mina de lápiz, pasando por la pila Daniell y la pila de Volta. *Anales de química de la RSEQ*, 118 (2), pp. 96-102.

Josep Corominas Viñas

GEDH, RSEF-RSEQ

CDCE-Col·legi de Llicenciats de Catalunya

jcoromi6@xtec.cat

¡No al botellón! Recalibrado de un refractómetro para determinar la graduación alcohólica de mezclas refresco-etanol · José Plaza Catalán, Irene Carrascosa Lamparero, Hugo Fernández Bosch, Lola Sánchez Vila y Lucía Martín Romero

El consumo de alcohol acarrea graves perjuicios para la salud como son: la intoxicación etílica, pudiendo llegar al coma etílico (es suficiente con una concentración de 3 g/l de etanol en sangre), accidentes de tráfico, problemas conductuales y falta de concentración, adicción, y a largo plazo daños irreversibles en órganos vitales como el hígado. El consumo de alcohol también está asociado al desarrollo de determinados tipos de cáncer. El botellón es una forma de “diversión” consistente en la ingesta de alcohol por parte de grupos de jóvenes, que se inician de esta forma en el consumo de alcohol, sin ser conscientes de los graves efectos para la salud anteriormente citados. En este proyecto, uno de nuestros principales objetivos ha sido determinar la cantidad de etanol en una muestra problema formada por un refresco y una cantidad de etanol indeterminada. La medida de la graduación alcohólica la hemos realizado con un refractómetro graduado, el cual hemos tenido que calibrar previamente utilizando disoluciones patrón. Elaboramos una muestra problema con una graduación de 15° y obtuvimos un resultado experimental de 14,38°. Por otra parte, queremos dar a conocer los efectos negativos del consumo de alcohol sobre la salud, en especial entre los jóvenes y proponer alternativas de ocio al botellón.

Objetivos

- Determinar la concentración de etanol en una mezcla refresco-etanol.
- Dar a conocer los efectos negativos del etanol sobre la salud y proponer alternativas de ocio al botellón.

Hipótesis

Al tratarse de una muestra obtenida en un botellón cabe esperar que la disolución contenga etanol en un rango de concentración 0-40°. La muestra problema ha sido preparada para tener una concentración de 15°.

Materiales y procedimiento:

Preparación de las disoluciones patrón:

Utilizando la calculadora de dilución de alcoholes o la tabla de dilución de alcoholes de Gay Lussac, preparamos en primer lugar 200 ml de una disolución etanol-agua de 40°. 1° equivale a una concentración del 1% en volumen de soluto en la disolución, en este caso etanol. Para producir las disoluciones patrón elegimos un refresco de naranja sin gas y sin azúcares añadidos (el mismo con el que fue preparada la muestra problema). Después preparamos disoluciones patrón refresco-etanol con la siguiente concentración en etanol: 0°, 10°, 20°, 30°, 40°. Para preparar una disolución de refresco con una concentración de etanol de 10° mezclamos 50 ml de etanol 40° con 150 ml de refresco. Para la disolución de 20°: 50 ml de etanol 40° con 50 ml de refresco. Para la disolución de 30°: 50 ml de etanol 40° con 16,7 ml de refresco (Hemos podido observar la contracción de volumen en las disoluciones obtenidas).

La muestra problema de una graduación de 15°, la podemos preparar mezclando 50 ml de etanol de 40° con 83,33 ml de refresco. El alcohol utilizado en la preparación de ha sido alcohol de 96° desnaturalizado, tóxico y no apto para el consumo humano.



Figura 1. Disoluciones patrón utilizadas en la determinación de la cantidad de etanol. Fuente: Elaboración propia.

Medida de la graduación alcohólica

A continuación, con un refractómetro graduado 0°-80° medimos la graduación del refresco. Ponemos unas gotas de la muestra a observar sobre la lente del refractómetro y observamos la línea azul que nos indica la graduación alcohólica. La temperatura de las muestras fue de 17 °C.



Figura 2. Medida de la graduación alcohólica con el refractómetro. Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Al medir con el refractómetro la graduación de las distintas disoluciones patrón obtenemos:

Concentración Vet(%)	0	10	20	30	40
Lectura refractómetro (°)	4	12	22	32	42

Tabla 1. Lectura del refractómetro obtenida en función de la concentración de alcohol en la disolución.

Es necesario realizar este nuevo calibrado del refractómetro para poder relacionar correctamente la lectura del refractómetro con la concentración real de etanol, ya que la muestra problema está formada por refresco que contiene glucosa, aunque sea sin azúcares añadidos. La presencia de glucosa en el refresco hace aumentar el índice de refracción del agua pura. Por este motivo, para una concentración de 0° el refractómetro marca una lectura de 4°.

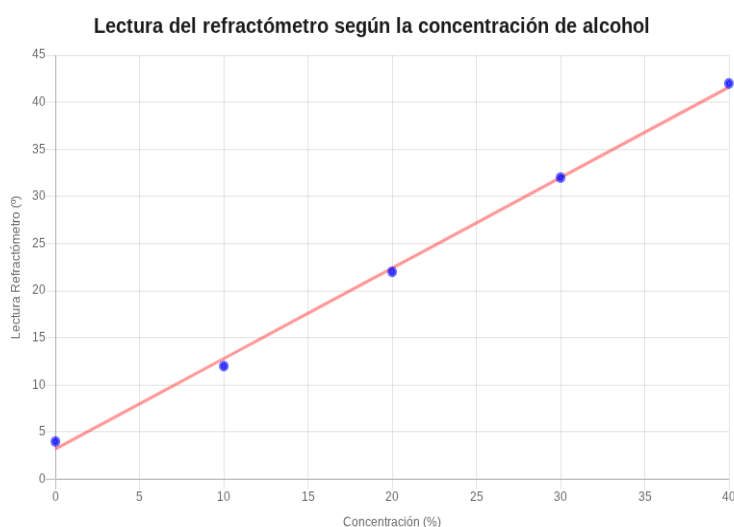


Figura 2. Lectura del refractómetro en función de la concentración de alcohol en la disolución. Fuente: Elaboración propia.

Tras la representación gráfica, los valores se ajustan a la ecuación de una recta: $RF = 0,96 \cdot \%Vet + 3,2$ ($r = 0,99$) El valor de los grados que indica el refractómetro es función de la concentración de etanol. La medida experimental de los "RF = 17", con lo que

le corresponde un % Vetanol = 14,38 %. Si tenemos en cuenta los errores de $\pm 1^\circ$ en la medida y el ajuste de la recta, el resultado es de una concentración de $14,38 \pm 1,38$ %.

Conclusiones

La muestra problema contiene una elevada concentración en etanol; el 15,45 % en volumen de etanol según los resultados experimentales obtenidos. Ante el botellón como forma de diversión y dados los graves problemas que acarrea para la salud el consumo de alcohol, se plantean otras alternativas de ocio como son: deporte, música, teatro, cine, actividades que conlleven contacto con la naturaleza y voluntariado social.

Agradecimientos

Al tratarse de un pequeño proyecto de investigación agradecer a: Irene Carrascosa Lamparero, Hugo Fernández Bosch, Lola Sánchez Vila, y Lucía Martín Romero el interés mostrado y el tiempo dedicado a la realización del proyecto, así como a la dirección del centro por las facilidades y apoyo recibido.

Bibliografía y webgrafía

Plan nacional sobre drogas. Ministerio de Sanidad.

Portal Plan Nacional sobre Drogas - A LARGO PLAZO.

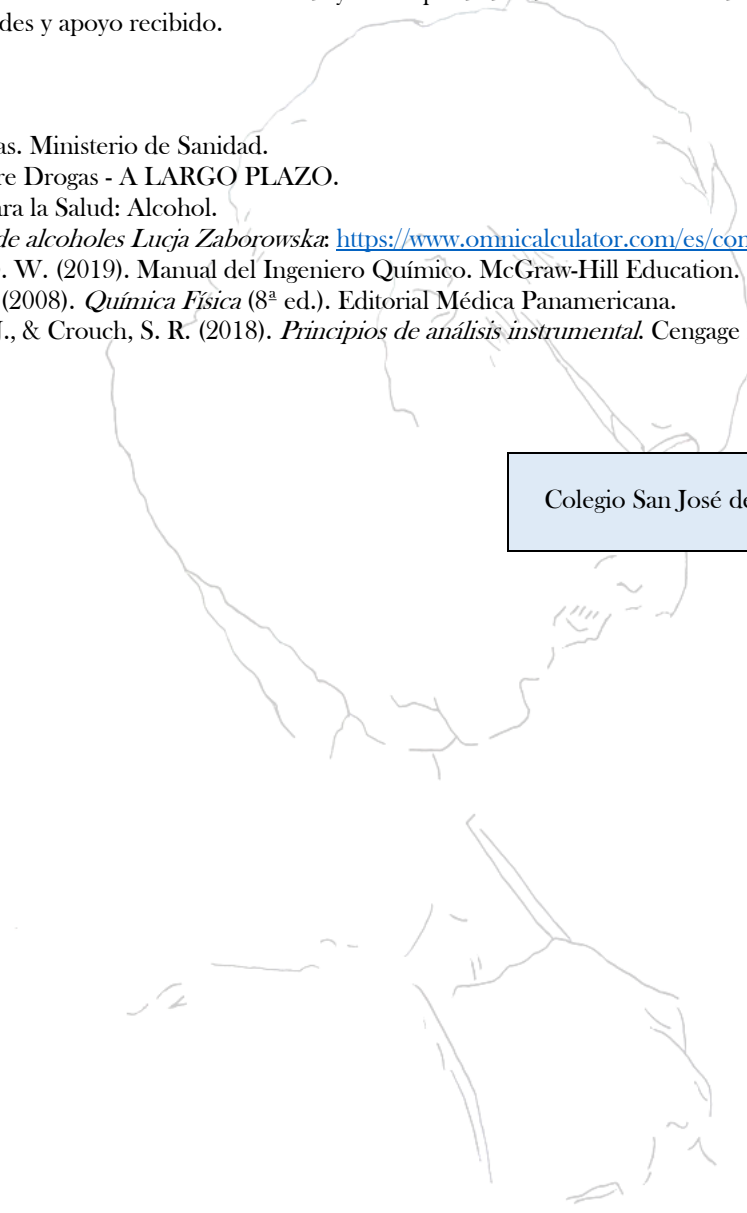
Organización Mundial para la Salud: Alcohol.

Calculadora de dilución de alcoholes Lucja Zaborowska: <https://www.omnicalculator.com/es/comida/calculadora-dilucion-alcohol>

Perry, R. H., & Green, D. W. (2019). Manual del Ingeniero Químico. McGraw-Hill Education.

Atkins, P., & de Paula, J. (2008). *Química Física* (8ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). *Principios de análisis instrumental*. Cengage Learning.



José Plaza Catalán
Colegio San José de la Montaña (Ceste, Valencia)
pepe.plaza@sjmcheste.org

A vueltas con la centrípeta y la centrífuga · Fernando Ignacio de Prada Pérez de Azpeitia

El aspecto dinámico del movimiento circular se encuentra entre los contenidos que más dificultad ofrece a los estudiantes preuniversitarios. Uno de los problemas es la confusión entre la fuerza centrípeta, que tira de los cuerpos hacia el interior, y el efecto centrífugo que experimentan, malinterpretado como una fuerza real denominada centrífuga.¹ Con el objetivo de mejorar la comprensión de este punto, partiendo de un enfoque didáctico-recreativo que busca fomentar la curiosidad y el deseo de aprender, se presentan una serie de retos. Se trata de demostraciones que forman parte del proyecto premiado en la XII edición del certamen de divulgación *Ciencia en Acción*, patrocinado por la RSEF y RSEQ, en la categoría *Demostraciones de Física*.

Centrípeta vs. centrífuga

Para que los cuerpos describan trayectorias curvilíneas, deben experimentar una aceleración y, según la segunda ley de Newton, una fuerza. En general, la fuerza resultante y la aceleración se pueden descomponer en una componente normal o centrípeta (dirigida hacia el centro de la curva) y en otra tangencial (tangente a la curva). En el movimiento circular uniforme la rapidez no cambia, por tanto, la componente tangencial es nula. Sí que lo hace de forma constante la dirección de la velocidad, debido a la aceleración centrípeta, que en este caso será perpendicular a la velocidad, al igual que la fuerza centrípeta. Esta fuerza es la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en dirección radial e igual al producto de la masa (inercial) por la aceleración centrípeta. Dicha masa inercial, resultante de la ley fundamental de la dinámica, convendría diferenciarla de la masa gravitatoria, consecuencia de la ley de gravitación universal: aunque coincidan en valor, difieren en significado.² Cualquier fuerza, o combinación de fuerzas, puede originar una aceleración centrípeta, pero no debe ser malinterpretada como una fuerza más entre todas las que actúan sobre el cuerpo, sino como una fuerza resultante.³

Cuando el observador describe una curva, o monta en una atracción giratoria, experimenta un efecto de empuje que actúa radialmente hacia el exterior de la curva: esto ha llevado a confundirlo como una fuerza de sentido opuesto a la centrípeta, mal llamada centrífuga (Figura 1).

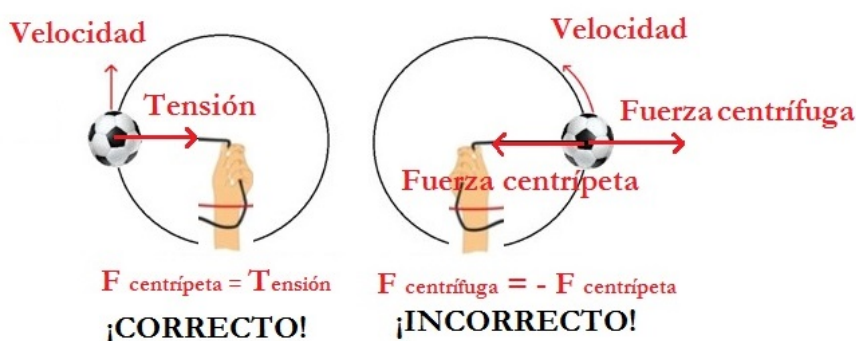


Figura 1. Interpretación correcta de las fuerzas que actúan sobre una pelota con MCU en rotación horizontal, unida al extremo de una cuerda (vista superior). Fuente: El autor

Hay que tener en cuenta que las leyes de la dinámica newtoniana solo son aplicables a sistemas de referencia inerciales (sin aceleración), que no es el caso cuando el observador gira en una plataforma rotatoria. Aunque nuestro cuerpo la perciba como una fuerza real, es un efecto semejante al que aparentemente nos empuja hacia atrás cuando un vehículo arranca: no existe realmente para un observador en reposo. A este efecto, se le suele citar como una fuerza inercial producida por efecto de la inercia de los cuerpos al moverse en torno a un eje, que tienden a seguir una trayectoria tangencial y alejarse del centro de la circunferencia.⁴

¿Cómo visibilizar la dirección de la velocidad de forma luminosa?

Para hacer visible, de una forma brillante, la dirección del vector velocidad de un cuerpo que gira describiendo una circunferencia, se necesita una taladradora en la que se inserta, y fija bien fuerte, una pequeña bengala de chispas cuyo alambre se dobla (Figura 2a) para que al girar describa una circunferencia. Como medida de seguridad, conviene dejar cierta distancia de seguridad, con respecto a personas y materiales inflamables, en la dirección en que salen las chispas. Una vez bien fijada la bengala se enciende (sin que gire) para analizar en qué dirección salen las chispas. A continuación, se conecta la taladradora y, cuando la bengala gire rápidamente, se analizan las líneas trazadas por las chispas al salir despedidas, para compararlas con las que se producían en reposo (<https://youtu.be/9eI3tVTtkhw>)

Cuando la bengala no gira, la dirección de las chispas es aleatoria. Sin embargo, cuando está en movimiento describiendo una trayectoria circular (Figura 2b), se pueden realizar las siguientes consideraciones:

- La dirección de la velocidad lineal de la bengala no es la misma en todos los puntos; va cambiando a cada instante y apunta en la dirección del movimiento. Como consecuencia, existirá una aceleración centrípeta: la bengala está acelerando constantemente (Figura 2c).

- La dirección de la trayectoria descrita por las chispas al salir despedidas de la bengala es tangente a la trayectoria en cada punto de la circunferencia, al igual que la dirección de la velocidad. Los vectores velocidad y aceleración centrípeta son perpendiculares entre sí, en cada punto de la trayectoria.

- Al aumentar la velocidad de giro, aumenta la rapidez de la bengala y más rápido cambia la dirección de las chispas: la aceleración centrípeta es proporcional a la velocidad.



Figura 2. a. Material. b. Fotografía de larga exposición de la bengala girando. c. Representación de la dirección de la velocidad y de la aceleración centrípeta. Fuente: El autor.

¿Es posible levantar una pelota haciéndola girar?

Aplicando una fuerza centrípeta, es posible levantar una pelota de ping-pong, sin tocarla con las manos directamente, y mantenerla girando en el interior de una copa con fondo ancho y la parte superior más estrecha (tipo balón). Para ello, hay que situar la pelota sobre una superficie lisa y horizontal, y encima de ella, la copa boca abajo, de manera que estén lateralmente en contacto. A continuación, realizando rápidos giros con la muñeca, se hace rotar la copa de forma que arrastre la pelota y la haga girar. En el momento en que la copa adquiere la velocidad suficiente, es posible levantarla suavemente y que la pelota ascienda por la pared describiendo una trayectoria circular mientras se mantiene el movimiento de giro (<https://youtu.be/Sa-A0DobV6M>).

Cuando la pelota se encuentra girando sobre la copa (Figura 3a), sin considerar el rozamiento, actúa la fuerza peso (P) y la fuerza tangencial que ejerce sobre la superficie curva del vidrio. De acuerdo a la tercera ley de Newton, sobre la pelota actuará una fuerza de reacción, de igual magnitud y dirección (perpendicular a la superficie), pero de sentido contrario, la fuerza normal (N), que forma un ángulo (α) sobre la horizontal (Figura 3b) y se puede descomponer en dos ejes:

$$\text{Eje horizontal: } N_x = N \cos \alpha \quad \text{Eje vertical: } N_y = N \sin \alpha$$

La componente horizontal de la fuerza normal (N) proporciona la fuerza centrípeta (F_c), responsable de la aceleración centrípeta (a), que actúa sobre la masa (m) de la pelota para mantenerla girando: $F_c = N \cos \alpha = m a_c$

La componente vertical de la fuerza de reacción (N) es la que contrarresta al peso (P), como indica la igualdad: $N_y = P$

Esta situación es semejante a la de hacer girar una tuerca dentro de un globo, hasta conseguir que describa un bucle horizontal sin caerse (Figura 3 c).

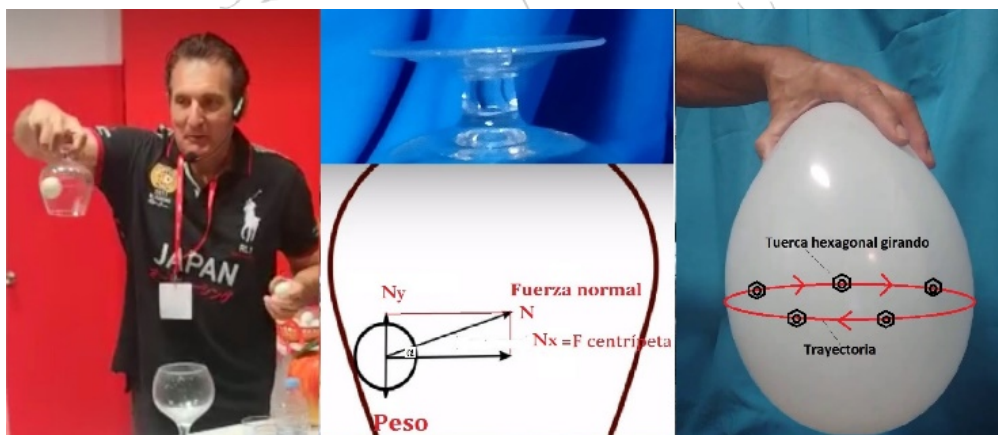


Figura 3. a. Demostración en la XIII edición de Ciencia en Acción (Villadecans, Barcelona) b. Componentes de la fuerza normal sobre la pelota. c. Tuerca giratoria. Fuente: El autor.

En una atracción giratoria, ¿se inclinan igual las sillas ocupadas que las vacías?

El sentido común puede llevar a pensar que cuando giran los columpios de un carrusel, se inclinarán más los asientos libres, por tener menos masa, que los que están ocupados. Para comprobarlo, se realiza una simulación empleando un paraguas, al que se le ha quitado el asa e insertado en la broca de un taladro.⁵ Por otro lado, en los extremos de las varillas del paraguas, se atan mediante unos hilos varios cuerpos, de masas m y $2m$, a distintas distancias al eje del bastón, r y $r/2$ (Figura 4a). Una vez que el sistema gira con velocidad angular constante, el movimiento puede considerarse como circular uniforme, y es posible medir y calcular algunas magnitudes características. Por ejemplo, a partir de la medida del tiempo que tardan los cuerpos en describir un número de vueltas determinado, se puede obtener el periodo y la frecuencia. Estos datos permiten calcular la velocidad angular (ω) y, junto al radio (r), la velocidad lineal (v) y la aceleración centrípeta (a).

Desde el punto de vista dinámico, la tensión de la cuerda que sujeta a los cuerpos cuando giran, y que forma un ángulo (α) respecto a la vertical, se puede descomponer en sus componentes vertical (T_y) y horizontal (T_x), ambas representadas en la Figura 4c (para una atracción de sillas voladoras):

$$T_y = T \cos \alpha \quad T_x = T \sin \alpha$$

Por un lado, la componente vertical de la tensión es la que equilibra la fuerza peso, que es igual a la masa gravitatoria (mg) por la aceleración de la gravedad (g). Así, en un carrusel giratorio, las sillas ocupadas tienen mayor masa gravitatoria que las vacías, y son atraídas por la Tierra con una fuerza mayor:

$$T_y = P = m_g g$$

Por otro lado, la componente horizontal es la que proporciona la fuerza centrípeta (F_c) que hace girar a los cuerpos, que depende de la resistencia del cuerpo a cambiar de velocidad o masa inercial (m), velocidad angular y radio de giro. Así, cuanto mayor sea la masa inercial de las sillas, mayor será la fuerza centrípeta ejercida:

$$T_x = F_c = m_i \cdot a_c = m_i \omega^2 r$$

Dividiendo miembro a miembro las dos componentes de la tensión y teniendo en cuenta que, al tener el mismo valor las masas inercial y gravitatoria se compensan ($m = m_i$), resulta la siguiente expresión del ángulo de inclinación:

$$\frac{T_x}{T_y} = \tan \alpha = \frac{m_i \omega^2 r}{m_g g} \rightarrow \alpha = \arctan \left(\frac{\omega^2 r}{g} \right)$$

De esta ecuación, se deduce que el ángulo de inclinación de los objetos al girar depende de la velocidad angular y del radio de giro (no de la masa).

Se puede comprobar (https://youtu.be/QhFTxX_VZz0) que los cuerpos más alejados del eje de giro, aunque tengan igual velocidad angular, se inclinan más que los más próximos, y que la inclinación es la misma para todos los cuerpos situados a la misma distancia del eje (Figura 4b), no dependiendo de la masa del cuerpo. Algo semejante a lo que le sucede a las sillas voladoras de un carrusel (Figura 4c)



Figura 4. a. Montaje. b. Demostración en *ConCienciaArte* (Círculo de Bellas Artes, Madrid). c. Fuerzas que actúan sobre los cuerpos al girar en las sillas de un carrusel. Fuente: El autor.

¿Puede un cuerpo ligero levantar a otro más grande y “pesado”?

Para lograr que un cuerpo pueda levantar y equilibrar a otro de masa mucho mayor, se utiliza un tubo de plástico, con una cuerda en su interior, en uno de cuyos extremos se ata un pequeño cuerpo (p. ej. un muñeco) y, en el otro, uno de mayor masa (Figura 5a). Con el tubo en vertical, y la masa grande suspendida en la parte inferior de la cuerda, ejercemos con la mano impulsos giratorios al tubo para que empiece a girar la masa pequeña (situada arriba) y describa una trayectoria circular. A partir de cierta velocidad angular, el cuerpo de mayor masa empezará a ascender, alcanzando el equilibrio cuando la velocidad angular se mantenga constante (<https://youtu.be/48Cp2hiRur4>). Para mantener la masa grande suspendida en el

aire, la fuerza resultante (F) de las fuerzas verticales que actúan sobre ella tiene que ser cero; para ello, la fuerza gravitacional o peso (P), que actúa verticalmente hacia abajo, debe ser contrarrestada por otra fuerza, la tensión (T), ejercida por la cuerda al tirar del cuerpo, que actúa verticalmente hacia arriba:

$$F_t = P + T = 0$$

Como la cuerda pasa a través del tubo, redirige la fuerza peso ejercida sobre la masa gravitacional (M) y la tensión de la cuerda, que actúa sobre la masa inercial (m) en el plano horizontal. Esta fuerza, responsable del movimiento circular uniforme, es la fuerza centrípeta (F). Se ha supuesto que no hay rozamiento entre la cuerda y el tubo, y que la masa de la cuerda es despreciable frente a la de los cuerpos; de esta forma, la tensión en la cuerda es la misma en ambos extremos de la cuerda e igual a la fuerza centrípeta que hace girar al muñeco. Por otro lado, si la masa m es pequeña y la rapidez alta, el plano de rotación se puede considerar horizontal (Figura 5b). De esta forma, la fuerza total actuaría horizontalmente y sería la fuerza responsable de la aceleración centrípeta.⁶ Teniendo en cuenta estas consideraciones, la fuerza centrípeta (mw^2r) que hace girar a la masa m será igual a la fuerza gravitatoria (Mg) que actúa sobre la masa M (Figura 5c), lo que permite deducir la velocidad angular (w) necesaria para mantener el equilibrio, en función de la masa gravitacional (M), la masa inercial (m) y el radio (r):

$$F_c = P \rightarrow mw^2r = Mg \rightarrow w = \sqrt{\frac{Mg}{mr}}$$



Figura 5. a. Material. b. Demostración en la DDD (Zaragoza). c. Esquema de fuerzas. Fuente: El autor.

El equilibrio de la manzana se puede alterar modificando la velocidad de giro de la masa menor y, por tanto, la fuerza centrípeta que actúa sobre ella: al aumentar la velocidad angular, aumentarán la aceleración y la fuerza centrípeta, haciendo que la masa M se eleve. Si se aumenta esta masa, p. ej., agregando una pesa, la velocidad angular requerida para elevarla y sostenerla en equilibrio tendrá que aumentar.

¿Cómo poner en órbita una bandeja con vasos de agua sin derramarla?

Un experimento clásico de la dinámica es hacer girar rápidamente en círculo un cubo con agua y que esta no se derrame. Una variante más llamativa consiste en voltear verticalmente una bandeja ligera (de aglomerado) con cuatro vasos llenos de agua. A unos centímetros de cada vértice de la bandeja se realizan sendos agujeros por los que se pasa una cuerda, haciendo un nudo por su parte inferior para que no se salgan. A continuación, se anudan los extremos superiores de las cuerdas para facilitar el agarre con la mano (Figura 6a). Primero, hay que balancear la bandeja suavemente de un lado a otro varias veces. Seguidamente, se la hace girar rápidamente para que describa un movimiento circular (bucle vertical) en el que ni los vasos caerán ni el agua se derramará (<https://youtu.be/KJZI-zBZFps>). Este tipo de movimientos, en que la rapidez es variable, se clasifica como circular acelerado dado que, además de la aceleración normal, existe una aceleración tangencial.⁷

Cuando sujetamos con la mano las cuatro cuerdas unidas a la bandeja, la fuerza peso del conjunto tira de ellas y, como consecuencia, se origina una tensión en cada cuerda, siendo la tensión total (T) la suma de las cuatro tensiones. Al describir una circunferencia y estar la bandeja invertida (Figura 6b), la tensión resultante impide que la fuerza gravitatoria haga caer los vasos con agua, empujándolos hacia el centro en dirección radial y manteniéndolos en movimiento (Figura 6c).

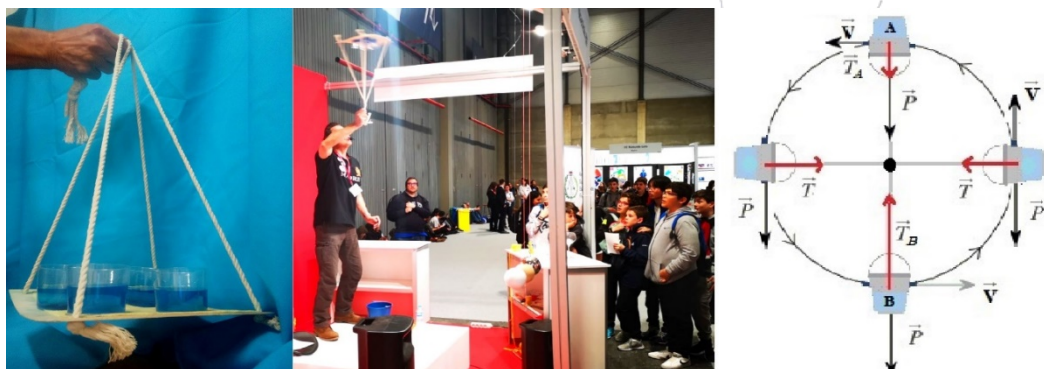


Figura 6. a. Bandeja con vasos de agua coloreada. b. Demostración en el stand de la RSEF durante la XII edición de la feria *Madrid es Ciencia*. c. Diagrama de fuerzas. Fuente: El autor.

En el punto más alto del bucle, sobre la masa del sistema (bandeja y vasos actúan dos fuerzas en dirección radial y hacia el centro: la tensión que ejercen las cuerdas (T_A) y la gravitatoria que ejerce la Tierra (P). La fuerza resultante (F) es responsable de la aceleración centrípeta. Aplicando la segunda ley de Newton en la dirección radial, y tomando el sentido positivo hacia el interior, se obtiene la tensión total de las cuerdas en función de la masa (m), la velocidad (v) y el radio(r):

$$F_t = P + T_A = ma_c \rightarrow mg + T_A = \frac{mv_A^2}{r} \rightarrow T_A = m\left(\frac{v_A^2}{r} - g\right)$$

Tanto la bandeja, como los vasos de agua, no caerán mientras la tensión en el punto más alto sea distinta de cero. Cuando la tensión es nula, se obtiene la rapidez mínima ($v^2=gr$). Si no hay tensión, la cuerda se aflojará y no describirá un círculo. Si nos centramos en el agua, sobre ella actuarían la fuerza gravitatoria (P) y la fuerza que ejerce la superficie del vaso (N_i). De forma semejante, la velocidad mínima para que el agua no caiga y se siga moviendo en círculo, es que la fuerza normal sea cero.⁸

Bibliografía

1. Casadellà, J. y Bibiloni, L. (1985). La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 3 (3), pp. 217-224.
2. Alonso, M. (1996). La enseñanza del concepto de masa a partir de un modelo de enseñanza como investigación. *Alambique*, 9, pp. 109-119.
3. De Jong, M. L. (1988). What name should be used for the force required to move a mass in a circle? *Phys. Teach.* 26, pp. 470-471.
4. Young, H. D. y Freedman, J. A. (2009). *Física universitaria*. Vol. 1. México: Pearson Educación.
5. Prada, F. y Martínez, J. A. (2020). El parque de atracciones como laboratorio de física. *Revista Española de Física*. 34 (4), pp. 29-31.
6. Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias y tecnología*. Vol. 1. México: Pearson Educación.
7. Serway, R.A. y Jewett, J. W. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Vol. 1. México: Cengage Learning Editores.
8. Tipler, P. A. y Mosca, G. (2004). *Física para la ciencia y tecnología*. Vol. 1. Barcelona: Reverté.

Fernando Ignacio de Prada Pérez de Azpeitia
GEDH, RSEF-RSEQ
DEDF, RSEF
fernando.pradaperez@educa.madrid.org

Diseño e implementación de un «escape box» de reacciones químicas en 2.º ESO · Laura Carmona Caballero, Marta Izquierdo Barroso y Juan Peña Martínez

La gamificación aplica elementos lúdicos (retos, niveles, narrativa) a contextos educativos para aumentar la motivación del alumnado¹. Un escape room educativo, a diferencia de los comerciales, busca desarrollar competencias curriculares mediante retos interconectados que exigen colaboración, pensamiento crítico y aprendizaje activo^{2,3}. En secundaria, estas dinámicas han mostrado un impacto positivo en el aprendizaje de las reacciones químicas^{2,4,5}. Una versión especialmente práctica para el aula es el Escape Box, donde los enigmas se concentran en cajas transportables⁶.

El Escape Box es la versión compacta y transportable del escape room. Los desafíos se concentran en una o varias cajas cerradas con candados (numéricos, de letras, con llave). Al prescindir de un escenario temático, los costes y la logística se reducen drásticamente. Además de la portabilidad, la caja cabe en una mochila y se puede usar en cualquier aula, otras ventajas son la durabilidad si se usan materiales plastificados y componentes modulares, lo que también reduce el tiempo de preparación entre sesiones; y la retroalimentación inmediata puesto que cada candado que se abre implica una recompensa visual que indica el progreso. En cuanto a la evaluación, las combinaciones de los candados son evidencias claras de aprendizaje. Hay que tener también en cuenta que puede utilizarse un andamiaje flexible, a través de pistas opcionales graduadas, provistas por el profesorado, con lo cual se evitarían las frustraciones sin perder la autonomía del alumnado⁷, y no olvidar que los retos se construyen de modo que la única forma de avanzar sea aplicar conceptos académicos, por ejemplo, clasificar reacciones químicas o balancear ecuaciones, lo que conecta la teoría con la práctica y consolida el aprendizaje². La narrativa actúa como andamiaje que contextualiza los contenidos y facilita la transferencia⁴.

La actividad de gamificación se realizó con tres grupos oficiales de 2º ESO del instituto IES Narcís Monturiol de Parla. Cada grupo contaba con entre 20 y 24 estudiantes, sumando un total de 69 participantes.

El interior de la caja

El Escape Box consistía en un kit cerrado con candados. Cada equipo recibió una caja idéntica. En el exterior, una breve historia ambientaba la situación y explicaba el contexto, generando expectación y un cierto sentido de urgencia. Esta misma historia se compartió con todos los grupos para favorecer la cooperación. Dentro de la caja había cuatro sobres, cada uno cerrado con un candado diferente (Figura 1a), y en cada uno de ellos se encontraban los materiales e instrucciones para resolver las pruebas. La mecánica era la siguiente, no se podía abrir el sobre 2 sin resolver la prueba 1, y así sucesivamente. Al final, el último sobre contenía los números necesarios para abrir una caja común que estaba en el aula, es decir, todos los kits conducían al mismo destino, permitiendo que los diferentes grupos avanzaran a su ritmo, pero con un objetivo compartido.

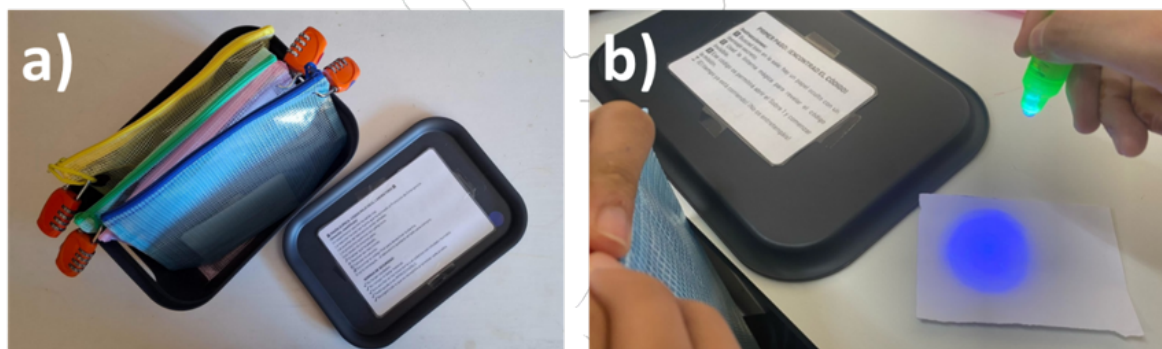


Figura 1. a) Kit completo y b) Resolución prueba inicial. Fuente: Elaboración propia.

La narrativa: “Un experimento fallido”

La narrativa del Escape Box se construyó en torno a un supuesto “experimento fallido” en un laboratorio de química, que sitúa al alumnado en una situación de emergencia ficticia. Según esta historia, un equipo investigador compuesto por el propio alumnado quedó atrapado dentro del laboratorio tras una cadena de reacciones imprevistas provocadas por un fallo experimental. A partir de este incidente, se les encomienda la misión de resolver una serie de retos científicos para restaurar el equilibrio químico, detener la reacción descontrolada y poder desbloquear el sistema de seguridad que les permitirá “escapar”. Esta narrativa no solo contextualiza la actividad, sino que da sentido a cada una de las pruebas presentadas, que se vinculan con contenidos curriculares de 2º de ESO relacionados con los cambios físicos y químicos, las reacciones químicas, el ajuste de ecuaciones, y la conservación de la masa⁸. El planteamiento del Escape Box convierte al alumnado en protagonista activo de una historia que requiere aplicar conocimientos científicos para resolver situaciones problemáticas de manera lógica, cooperativa y significativa.

Las cuatro pruebas (de menor a mayor dificultad)

Antes de empezar con las pruebas, los discentes debían leer las instrucciones que estaban en la tapa de la caja. Allí se les indicaba que buscaran un papel escondido en el aula y que usaran la linterna de luz ultravioleta (UV) que encontraban dentro de la caja

para leerlo (Figura 1b). Ese papel contenía el código del primer candado. Como comentario, durante el juego la linterna UV generó muchas exclamaciones de sorpresa. Varios grupos perdieron un par de minutos buscando el papel por el aula, lo que añadió tensión positiva.

Prueba 1: Cambios físicos vs. químicos

En esta primera prueba, el alumnado debía clasificar diferentes procesos (fundir un metal, quemar madera, disolver azúcar, oxidar un clavo, etc.) como cambio físico o químico. Los procesos se presentaban en tarjetas con imágenes. Cada tarjeta tenía un número en una esquina (Figura 2a).

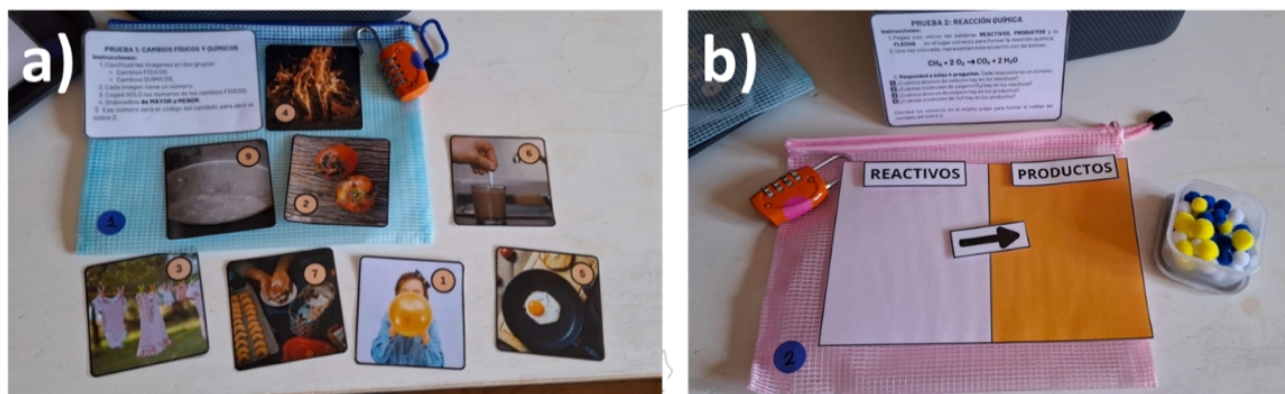


Figura 2. Material para la prueba 1 (a) y 2 (b). Fuente: Elaboración propia.

Una vez clasificadas correctamente, debían ordenar las tarjetas de mayor a menor según un criterio que descubrían al resolver la prueba. El orden generaba un código numérico que abría el candado del segundo sobre. Los grupos más rápidos discutían acaloradamente si la disolución del azúcar era cambio físico o químico. Justo el tipo de debate que se quería generar.

Prueba 2: Representación simbólica de moléculas y átomos.

Aquí aparecían modelos moleculares con bolitas de colores (cada color representaba un elemento: rojo = oxígeno, negro = carbono, etc.), véase la Figura 2b. El alumnado debía identificar reactivos y productos, y responder preguntas sobre el número y tipo de átomos implicados en una reacción. Los estudiantes que solían tener más dificultades con la notación simbólica fueron ayudados por sus compañeros. Por ejemplo, un estudiante le explicaba a otro: “Mira, esta bolita roja es el oxígeno, y aquí hay dos, por eso se escribe O_2 ”.

Prueba 3: Ajuste de reacciones químicas

El equipo debía ajustar dos ecuaciones químicas sencillas. Disponían de una pizarra pequeña y rotuladores para hacer cálculos (Figura 3a). Los coeficientes distintos de uno formaban la clave para abrir el siguiente candado.

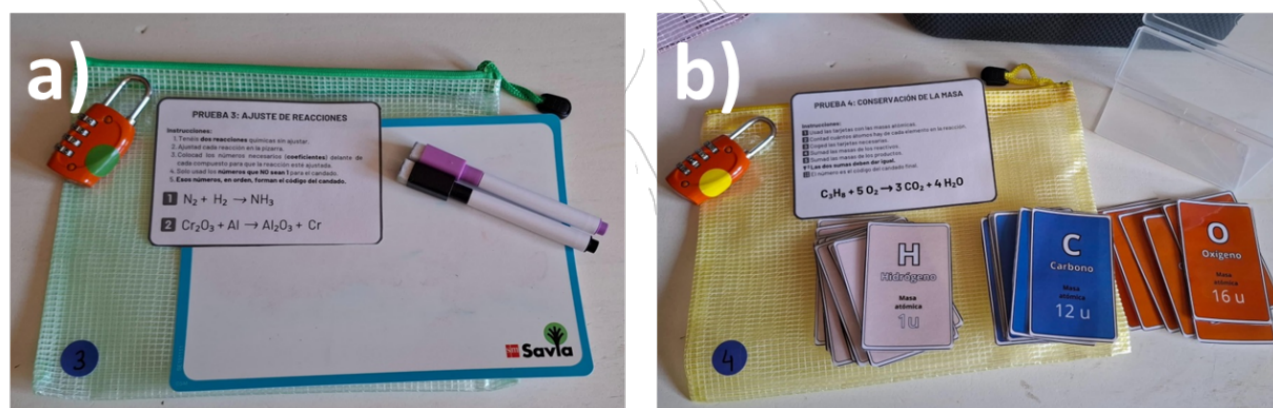


Figura 3. Material para la prueba 3 (a) y 4 (b). Fuente: Elaboración propia.

Aquí aparecieron las mayores dificultades. Algunos grupos intentaban ajustar “a ojo” sin escribir nada. Tras unos minutos de frustración, pedían un comodín y entonces se le sugería que usaran la pizarra. El cambio fue inmediato.

Prueba 4: Conservación de la masa

La última prueba verificaba la Ley de Conservación de la Masa. Se les presentaba una ecuación química y unas tarjetas con los elementos y sus masas atómicas redondeadas (Figura 3b). Debían comprobar si la masa se mantenía constante y averiguar el código para abrir la caja final. Esta prueba fue la más “matemática”. Algunos grupos se dieron cuenta rápidamente de que sumar las masas de reactivos y productos daba el mismo resultado. Otros necesitaron dos intentos, pero al final lo consiguieron.

El cierre: Una caja común y un mensaje especial

La caja común se abría cuando el primer equipo conseguía el código final, y al abrirla nada más y nada menos que se salva el laboratorio y pueden escapar. Dentro había una nota que decía: “¡¡Felicidades!! Podéis ayudar a los demás equipos, todos conseguirán su premio”. Téngase en cuenta que es un detalle crucial. Los primeros en acabar no se quedaban de brazos cruzados, sino que se convertían en ayudantes de sus compañeros y compañeras. De esta forma, todos los grupos tuvieron la oportunidad de completar la actividad sin frustrarse, y el juego no terminaba para nadie hasta el último minuto.

Organización y tiempos

La actividad duró 50 minutos, pero algunos grupos acabaron muy justos. Ampliar a 55-60 minutos podría dar algo más de margen. La organización fue la siguiente:

- Introducción (5-7 minutos): Explicación de la narrativa, normas y reparto de equipos. Se hizo hincapié en el respeto, el trabajo en equipo y el cuidado del material.
- Juego (35-40 minutos): Los grupos trabajan en las pruebas. Pueden pedir hasta tres “comodines” (pistas) si se atascan.
- Cierre (5 minutos): Se abre la caja común, se lee el mensaje y los primeros ayudan al resto.

Comportamiento de los equipos (observaciones durante el juego)

Durante el Escape Box, las dos docentes que coordinaban la actividad tomaron notas de cómo trabajaban los distintos grupos. No se trataba de una evaluación exhaustiva, sino de observar qué funcionaba y qué no para poder mejorar la actividad en el futuro. Lo primero que llamó la atención fue el entusiasmo inicial. Durante los primeros cinco o siete minutos, todos los equipos se lanzaron sobre los materiales con energía, hablaban a la vez, movían las tarjetas, probaban códigos al azar. Era un caos ordenado, pero sin un plan claro. Pasado ese primer momento de euforia, empezaron a diferenciarse tres tipos de dinámicas de equipo: cooperativos, con líder y fragmentados. Los equipos cooperativos fueron los que mejor funcionaron. Estos grupos se repartían el trabajo desde el principio. Alguien leía las instrucciones, otro probaba el candado, un tercero anotaba los códigos que ya habían conseguido. Se escuchaban unos a otros, discutían sin pelearse y, cuando alguien se equivocaba, lo corregían con argumentos. Como resultado, avanzaron rápido, pidieron pocas pistas y fueron los primeros en terminar (o segundos, muy cerca). En cambio, los equipos con líder funcionan bien hasta que el líder falla. En estos grupos, una persona tomaba todas las decisiones. Los demás asentían y ejecutaban, así, probaban el candado que el líder decía, buscaban la pista que él señalaba... Al principio avanzaban bien, porque el líder solía ser alguien con buenos conocimientos. Pero cuando se atascan (y todos se atascan en algún momento), el líder se frustraba y empezaba a soltar frases como “Es que no me escucháis” o “Haced lo que os digo”. En ese momento, el grupo se fragmentaba y empezaban los roces.

Finalmente, los equipos fragmentados son los que más sufrieron. Estos grupos nunca lograron organizarse. Hablaban todos a la vez sin escucharse, repetían las mismas acciones una y otra vez (por ejemplo, probar el mismo código cinco veces seguidas) y no repartían las tareas. A la postre, pidieron más pistas que los demás, avanzaron muy lento y algunos estuvieron a punto de rendirse. Con ayuda de las docentes y algún comodín extra, finalmente lograron terminar, pero con más frustración que satisfacción.

Recomendaciones

La observación del desarrollo del juego propició varias lecciones prácticas. No se trata de conclusiones cerradas, sino de propuestas para el docente que se anime a replicar la actividad. En primer lugar, respecto a la atención a los tres perfiles observados de dinámica de grupo, se recomienda dejar que fluyan los equipos cooperativos; con los de líder dominante, habría que intervenir “suavemente” para que el líder delegue, por ejemplo, preguntando “¿Qué opináis los demás?”; y con los grupos fragmentados, hay que asignarles roles concretos al principio (un lector, un anotador, un encargado de probar candados...). En cualquier caso, antes de empezar el juego, es conveniente dedicar 2 minutos a que cada equipo se ponga de acuerdo en cómo se van a organizar. No se debe dar por sentado que saben trabajar en equipo. Eso sí, la linterna UV fue un acierto, no en vano, la prueba inicial con tinta invisible y la linterna generó muchas exclamaciones de sorpresa. Es un recurso sencillo, económico y añade un componente de “misterio” que engancha desde el primer momento. Ergo, si es posible, hay que incluir algún elemento sensorial o sorpresivo en la primera prueba. No tiene que ser caro, la tinta invisible, un mensaje con códigos de colores, una lenteja escondida... Cualquier cosa que rompa con la rutina del lápiz y papel.

En referencia a los “comodines”, funcionan, pero hay que dosificarlos. En la implementación del juego se ofrecieron hasta tres pistas por equipo. Los grupos que más las pidieron fueron los fragmentados. Los cooperativos apenas necesitaron una. De todas maneras, es recomendable establecer un sistema claro de comodines. Por ejemplo: comodín 1 - pista leve (señala el camino sin dar la solución), comodín 2 - pista media (reduce las opciones), y comodín 3 - solución casi directa (para equipos bloqueados). En cualquier caso, lo importante es no facilitar pistas sin que las pidan. Parte del aprendizaje es aprender a pedir ayuda cuando la

necesitan, y como no facilitarla. Así, para evitar frustraciones, cuando el primer equipo abrió la caja común, la nota les pedía que ayudaran al resto. Esto fue clave. Los grupos que terminaban pronto no se aburrían ni se sentían "superiores"; al contrario, se convirtieron en facilitadores. Se recomienda no diseñar un Escape Box con un único ganador. Mejor un objetivo compartido donde todos puedan terminar. La competición puede motivar al principio, pero la cooperación sostiene el interés hasta el final. Por último, la observación en tiempo real permite ajustar sobre la marcha. Mientras los discentes jugaban, las docentes íbamos tomando notas de qué pruebas generaban más dudas y qué equipos necesitaban más apoyo. Esto nos permitió, por ejemplo, añadir un comodín extra a un equipo que estaba a punto de rendirse; recordar a un grupo que usara la pizarra para ajustar ecuaciones; detectar que la prueba 3 (ajuste de reacciones) era la más difícil, y prepararnos para ayudar más allí. En conclusión, no hay que limitarse a "vigilar", más bien el propósito es identificar dificultades comunes, detectar alumnado desconectado y, como no, recoger ideas para mejorar la actividad la próxima vez.

Valoración global y propuesta de mejora

Después de esta experiencia, la valoración es claramente positiva, pero conviene matizar. Lo que funcionó muy bien fue la implicación de alumnado normalmente desconectado. Varios estudiantes que suelen no participar, no prestar atención o no completar tareas se volcaron en el Escape Box. Verlos explicar a sus compañeros cómo ajustar una ecuación fue, probablemente, el mejor resultado de toda la actividad. No obstante, la prueba 3 (ajuste de ecuaciones) resultó demasiado difícil para algunos grupos. Se podría optar por incluir una ecuación más sencilla o un ejemplo guiado antes de empezar. Otra cuestión importante es la preparación de materiales pues lleva su tiempo. Plastificar tarjetas, preparar sobres, probar candados, etc., es algo que no se puede improvisar. Aun así, con recursos sencillos, pero con una planificación pedagógica clara, un Escape Box puede transformar el aprendizaje de la química, sobre todo para "enganchar" al alumnado desmotivado y hacer que los contenidos curriculares cobren sentido. De hecho, los estudiantes valoraron la actividad como divertida y útil para aprender. No hubo ni una sola valoración negativa.

Referencias bibliográficas

1. Li, Liuyufeng; Hew, Khe Foon; & Du, Jiahui. (2024). Gamification enhances student intrinsic motivation, perceptions of autonomy and relatedness, but minimal impact on competency: a meta-analysis and systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72(2), pp. 765-796.
2. Lathwesen, Chantal; & Eilks, Ingo. (2024). Can you make it back to Earth? A digital educational escape room for secondary chemistry education to explore selected principles of green chemistry. *Journal of Chemical Education*, 101(8), pp. 3193-3201.
3. Psyllou, María. (2024). Escape the classroom: a game to improve learning and student engagement. En 10th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'24). Valencia, 18-21 Junio 2024. <https://doi.org/10.4995/HEAd24.2024.17351>
4. Lathwesen, Chantal; & Belova, Nadja. (2021). Escape Rooms in STEM Teaching and Learning — Prospective Field or Declining Trend? A Literature Review. *Education Sciences*, 11(6), pp. 308.
5. Taraldsen, Lene Hayden; Haara, Frode Olav; Lysne, Mari Skjerdal; Reitan Jensen, Pernille; & Jenssen, Eirik S. (2020). A review on use of escape rooms in education-touching the void. *Education Inquiry*, 13(2), pp. 169-184.
6. Veldkamp, Alice; Daemen, Joke; Teekens, Stijn; Koelewijn, Stefan; Knippels, M-Christine P. J.; & van Joolingen, Wouter R. (2020). Escape boxes: Bringing escape room experience into the classroom. *British Journal of Ed. Technology*, 51(4), pp. 1220-1239.
7. Grepperud, Peter. (2025). Educational escape games in primary and secondary education: a framework synthesis review. *Education Inquiry*, pp. 1-17.
8. Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establecen la Ordenación y las Enseñanzas Mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.

Laura Carmona Caballero Universidad Complutense de Madrid lcarmo04@ucm.es	Marta Izquierdo Barroso IES Narcís Monturiol (Parla, Madrid) marta.izquierdo9@educa.madrid.org	Juan Peña Martínez Universidad Complutense de Madrid jpe01@ucm.es
---	--	--

Tecnologías para mejorar la educación: EDUVERS · Juan José Los Arcos

En los últimos años el rápido desarrollo de tecnologías digitales, y en particular de los modelos de lenguaje basados en inteligencia artificial, está abriendo nuevas posibilidades en numerosos ámbitos del conocimiento y la economía. El ámbito educativo no es una excepción, aunque la adopción de estas tecnologías suele producirse de forma gradual, mediante iniciativas dispersas y a pequeña escala.

Las primeras grandes plataformas de aprendizaje en línea, como Khan Academy, supusieron una importante transformación al hacer accesible la educación secundaria a cualquier persona con conexión a internet. Sin embargo, muchas de estas herramientas están diseñadas para contextos educativos específicos y no siempre se adaptan al trabajo cotidiano del aula han limitado en parte su impacto. Con el objetivo de abordar estas limitaciones se propone eduvers, una plataforma educativa abierta accesible a través de la web (<https://eduvers.org>). El proyecto busca explorar nuevas formas de aprendizaje interactivo y personalizado adaptadas al contexto educativo español, integrando recursos digitales con los materiales tradicionales utilizados en clase.

La propuesta se basa en un modelo educativo híbrido, donde los contenidos digitales complementan el uso de apuntes y materiales en papel. De esta forma, la plataforma puede utilizarse tanto como repositorio de contenidos teóricos como entorno de práctica mediante ejercicios interactivos accesibles desde cualquier dispositivo, incluidos teléfonos móviles.

Ejercicios interactivos y práctica guiada

Una de las primeras necesidades detectadas durante el desarrollo de la plataforma fue la importancia de ofrecer una gran cantidad de ejercicios prácticos asociados a cada contenido.

Por este motivo, cada tema combina explicaciones teóricas breves, ejercicios interactivos autocorregibles y actividades con retroalimentación inmediata.

Los ejercicios pueden adoptar diferentes formatos, como preguntas de respuesta múltiple, problemas numéricos o actividades guiadas. Este enfoque permite transformar actividades tradicionalmente estáticas en experiencias dinámicas donde el estudiante puede practicar de forma repetida y recibir retroalimentación inmediata.

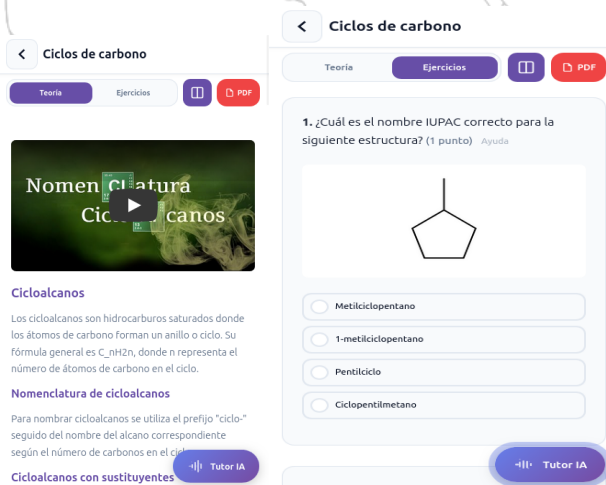


Figura 1. Ejemplo de contenido educativo para aprender nomenclatura orgánica. Fuente: Elaboración propia.

Además, las tecnologías web permiten desarrollar herramientas interactivas específicas para tareas científicas, por ejemplo:

- Ajuste de reacciones químicas (<https://eduvers.org/en/physics-chemistry-2-eso/chemical-reactions/learn-stoichiometry/>)
- Práctica de nomenclatura química (<https://eduvers.org/es/fisica-quimica/cursos/2-eso/nomenclatura-inorganica-examen/>)
- Resolución paso a paso de problemas matemáticos (<https://eduvers.org/es/matematicas/aritmetica/descomponer-primos/>)

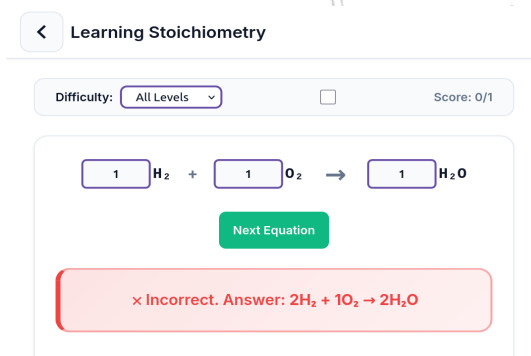


Figura 2. Ejemplo de contenido personalizado para aprender estequiometría. Fuente: Elaboración propia.

Inteligencia artificial y generación dinámica de contenidos

La incorporación de inteligencia artificial amplía significativamente las posibilidades educativas de la plataforma. En eduvers estas herramientas pueden utilizarse para:

- generar automáticamente nuevos ejercicios
- adaptar el nivel de dificultad al progreso del estudiante
- ofrecer pistas o explicaciones antes de responder
- proporcionar análisis posterior de los errores cometidos.

De esta forma, la inteligencia artificial actúa como un sistema de apoyo al aprendizaje, permitiendo multiplicar las oportunidades de práctica sin aumentar la carga de trabajo del profesorado.

Integración con el trabajo del aula

Un principio fundamental del proyecto es que la tecnología educativa debe complementar y no sustituir los métodos tradicionales de enseñanza. Por ello, la plataforma está diseñada para integrarse fácilmente en el trabajo cotidiano del aula. Los contenidos pueden utilizarse como apoyo a los apuntes del profesor, mientras que los ejercicios interactivos permiten reforzar la práctica dentro o fuera de clase. Este enfoque híbrido responde también a la realidad tecnológica actual: para muchos estudiantes, el dispositivo principal de acceso a internet es el teléfono móvil. En consecuencia, la plataforma está diseñada para funcionar correctamente en distintos dispositivos y tamaños de pantalla.

Comunidad y participación

El proyecto eduvers también busca fomentar la participación de la comunidad educativa. Para ello se han incorporado mecanismos de interacción que permiten a los usuarios realizar comentarios, compartir experiencias o plantear sugerencias a través del chat de aprendizaje o mediante redes sociales. No obstante, abrir completamente el desarrollo a la participación técnica resulta complejo para muchos usuarios. Aunque el código de la plataforma puede publicarse en repositorios como GitHub, este tipo de herramientas suele resultar poco accesible para la mayoría de docentes y estudiantes. Situaciones similares se observan en otros proyectos educativos abiertos, como *fisiquimicamente.com*, donde la colaboración directa en el desarrollo técnico no siempre resulta sencilla. Por este motivo, se anima a cualquier persona interesada en el proyecto, docentes, estudiantes o instituciones, a participar mediante sugerencias, aportación de ejercicios, ideas de actividades o difusión de la plataforma.

Posibles aplicaciones y desarrollo futuro

Una posible aplicación de este tipo de herramientas es la digitalización de materiales avanzados de entrenamiento, como los problemas utilizados en competiciones científicas. Por ejemplo, algunos ejercicios de preparación para las olimpiadas de química se están incorporando de forma experimental en la sección de actividades de la plataforma (<https://eduvers.org/es/otras/>). La conversión de este tipo de materiales en ejercicios interactivos podría mejorar notablemente la accesibilidad al entrenamiento para estudiantes interesados en este tipo de competiciones. Asimismo, plataformas de este tipo podrían facilitar que instituciones científicas como la Real Sociedad Española de Química establezcan estándares y objetivos de aprendizaje más definidos. En este contexto, los profesores podrían centrarse en un papel más cercano al de facilitadores o mentores del proceso de aprendizaje, algo que ya ocurre en etapas educativas como el bachillerato y que suele resultar especialmente enriquecedor desde el punto de vista docente.

Conclusión

El desarrollo de tecnologías web modernas y sistemas de inteligencia artificial abre nuevas oportunidades para la creación de plataformas educativas más interactivas y adaptativas. Este enfoque apunta hacia un modelo educativo más flexible y centrado en la práctica, donde la tecnología amplía las oportunidades de aprendizaje y permite que el profesorado dedique más tiempo a las tareas pedagógicas de mayor valor.

Juan José Los Arcos

eduvers.org

meduvers@gmail.com

Resistencia del aire en caída libre · Pablo Cassinello Espinosa

Si no influye el rozamiento con el aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración en la superficie terrestre ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Cuando sí influye, se ralentiza la caída que incluso puede llegar a ser con velocidad uniforme. En este trabajo se analiza de qué depende la resistencia del aire y se realiza un estudio práctico para comprobar que es proporcional a la velocidad de caída al cuadrado. Utilizamos objetos ligeros que alcanzan fácil y rápidamente la velocidad terminal de caída. Se calcula esta velocidad uniforme y se ve cómo influye en la fuerza de resistencia del aire.

Caída con aceleración

Cuando un cuerpo cae, está actuando la fuerza peso, vertical hacia el suelo. Pero también, actúa una fuerza vertical en sentido contrario debido al rozamiento con el aire. Si se evita esta resistencia o este rozamiento no es significativo, todos los cuerpos caen con la aceleración de la gravedad (g). El valor de la gravedad (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$) es el mismo independientemente de la masa. Pero intuitivamente se piensa que los cuerpos más pesados caen con mayor aceleración que los ligeros. Muchos alumnos así lo creen. Por eso es conveniente y didáctico realizar alguna demostración en clase para mostrar que cuerpos de distinta masa tardan lo mismo en caer. Como ejemplo, puede dejarse caer desde la misma altura una bola de petanca y otra de tenis. La primera pesa por encima de trece veces más que la otra, pero llegan al suelo a la vez. Esto sólo es válido, si caen desde poca altura (por ejemplo, tres metros) porque la influencia del rozamiento del aire es muy pequeña, si los cuerpos, como en este caso, no son ligeros. Para despejar cualquier duda entre el alumnado puede grabarse a cámara lenta y mostrarse.¹



Figura 1. Bolas de distinta masa cayendo a la vez. Fuente: El autor.

Ahora bien, si los objetos caen desde cierta altura la resistencia del aire ya no es insignificante (porque depende de la velocidad de caída al cuadrado, como se comprobará más adelante). En el caso de la bola de petanca y tenis, ya no llegan al unísono. Puede ser igual el rozamiento con el aire, pero aun así, cae antes la más pesada porque proporcionalmente influye más en el cuerpo que pesa poco. Fue Galileo quien descubrió la ley de caída de todos los cuerpos que caen con cualquier aceleración si no interviene significativamente la resistencia del aire. Ya sea caída libre vertical o caída por una rampa. Descubrió que el espacio es proporcional al tiempo al cuadrado siguiendo la ley de caída relacionada con los números impares:² si para un tiempo t el espacio recorrido es s , en el siguiente tiempo t el avance es $3s$, en el siguiente será $5s$... Impresiona que fue capaz de hallarla utilizando relojes de arena y agua. Esta deducción, utilizando el método científico supuso un cambio radical respecto de la concepción predominante de la caída desde Aristóteles. Para ilustrarla, se aconseja realizar una práctica de caída de una bola por una rampa en el laboratorio.³ Además de ser una práctica instructiva, es un buen ejemplo de movimiento acelerado y se puede comprobar esta ley de caída de Galileo.

Caída con movimiento uniforme

Cuando la altura de la caída es considerable, muchos cuerpos alcanzan velocidad terminal uniforme. Al principio, caen con aceleración, pero llega un momento en que la fuerza de resistencia del aire aumenta lo suficiente para provocar la caída con velocidad constante. Por ejemplo, un especialista cayendo desde un avión la alcanza a unos 200 km/h . Mas moderada es la velocidad constante terminal de una pelota de golf: 158 km/h y una de béisbol (155 km/s).⁴ En la caída de un cuerpo ligero se alcanza la velocidad constante enseguida, incluso desde poca altura porque la resistencia del aire presenta un valor que es un porcentaje significativo del valor del peso, llegando a ser igual al mismo cuando el cuerpo cae con velocidad terminal constante. Es interesante y didáctico mostrar a los alumnos un ejemplo de caída con movimiento terminal uniforme.⁵ Puede realizarse fácil y rápidamente utilizando un cono de papel o ciertos filtros de café.⁴ Para realizar conos para la experiencia (Fig. 2), se necesitan círculos de papel con el mismo radio. En nuestro caso, se ha escogido 10 cm . Desde el centro se traza un radio cualquiera. A un ángulo determinado se dibuja otro radio. Se da un corte a uno de los radios y se desplaza este radio montándolo encima del otro. Finalmente, se pone un poco de celofán por fuera.⁵ Para hacer más evidente la velocidad uniforme terminal, además del cono se deja caer al mismo tiempo y desde la misma altura una pelota pequeña que sí cae todo el tiempo con aceleración y también se pueden dejar caer dos conos a la vez que llegan al unísono al suelo, para comprobar que este movimiento uniforme responde a unas causas reproducibles y no es por casualidad.⁵



Figura 2. Conos de papel para la experiencia. Fuente: El autor.

Resistencia del aire en la caída libre

La resistencia del aire (R) es una fuerza vertical en sentido contrario al peso. Su expresión es: $R = \frac{1}{2} C \rho A v^2$, donde C es el coeficiente de arrastre, una constante adimensional de valor empírico que depende básicamente de la forma del cuerpo (para cuerpos esféricos su valor es $0,5$); ρ es la densidad del aire; A es el área efectiva (no el área total del cuerpo, sino la que es afectada directamente por el aire), esto es, el área de la sección transversal del objeto en movimiento medido en un plano perpendicular a su velocidad.⁴ Si por ejemplo, se deja caer desde una gran altura una pelota grande y otra pequeña del mismo peso se observa que llega al suelo antes la pelota pequeña porque tiene un área menor y, por tanto, hay menor resistencia del aire.



Figura 3. Cono cayendo delante de las medidas de altura. Fuente: El autor.

Resulta didáctico constatar la influencia del área efectiva en la experiencia de caída uniforme de conos de papel. Cuando ésta es mayor (menor ángulo en la realización del cono) el cono cae más lentamente. Finalmente, en la fórmula de la resistencia aparece la velocidad (v) al cuadrado. En el siguiente apartado se desarrolla una propuesta práctica en la que se investiga precisamente esta relación entre la velocidad de caída y la resistencia del aire. Para evitar la influencia del área se dejan caer conos iguales con la misma superficie. Aunque variemos el número de conos que se precipitan desde la misma altura, el área es la misma porque al poner unos conos dentro de los otros no cambia al área efectiva que es afectada por el aire exterior.

El cálculo de la resistencia del aire (R) en la caída, según la fórmula ya expuesta, puede ser complicado, pero es sencillo cuando se alcanza velocidad terminal uniforme. En este caso, esta fuerza es igual al peso del cuerpo, cumpliéndose por tanto, esta ecuación: $R = mg$.

Influencia de la velocidad de caída en la resistencia del aire

Para realizar el estudio, no podemos utilizar un objeto como una pluma o una hoja de papel porque no caen de forma regular. Lo hacen caóticamente, pero hemos comprobado que un cono de papel cae de forma regular y, analizando pormenorizadamente, se observa que lo hace finalmente con velocidad uniforme. El estudio se va a hacer utilizando cuatro conos de papel iguales. Se realizan a partir de círculos de papel de 10 cm de radio. El ángulo escogido para confeccionarlos, según las instrucciones ya expuestas, es de 120 grados. Primeramente, se deja caer solo uno. A continuación, se duplica la masa de caída poniendo un cono dentro de otro. Luego se utilizan tres y finalmente cuatro. Cuando en la caída alcanzan la velocidad terminal uniforme, la resistencia del aire es igual al peso, $R = mg$. Así que es fácil calcular su valor, en cada caso. Hay que tener en cuenta que el área es la misma en los cuatro casos, pues se trata del área efectiva que coincide con solo el área del cono inferior. También es constante la densidad del aire, así que la fórmula de la resistencia del aire se simplifica:

$$R = \frac{1}{2} C \rho A v^2 = \text{Constante} \cdot v^2$$

Para conseguir con certeza velocidad uniforme, dejamos caer los conos desde una considerable altura, casi tres metros, por lo que el experimentador tiene que subirse a una mesa o una silla. Para calcular la velocidad terminal de caída se ha medido en todos los casos el tiempo desde la misma posición (altura de 1,4 metros). No se utiliza una mayor, para asegurarnos que en todos los casos en la caída desde casi tres metros se manifiesta ya, al paso por una altura de 1,4 metros, velocidad terminal uniforme. Se ha grabado primero la precipitación de un cono y analizándolo a cámara lenta se ha medido el tiempo en caer sólo en el tramo final desde 1,4 m de altura. A continuación, se realizan dos grabaciones más con sólo un cono y se hallan también, ralentizando a cámara lenta, los tiempos correspondientes. Se procede igual con dos conos (doble de masa), a continuación con tres y finalmente con cuatro.⁶ En la siguiente tabla se recogen los tiempos medios encontrados para cada caso. También se ha calculado la velocidad terminal, simplemente dividiendo la altura (1,4 m) entre el tiempo medio correspondiente. Igualmente, en la tabla se recoge el valor de esta velocidad al cuadrado.

Número de conos	Masa (g)	Tiempo medio de caída a 1,4 m. (s)	Velocidad terminal (m/s)	Velocidad terminal ² (m/s) ²
1	2,7	0,72	1,95	3,8
2	5,4	0,52	2,7	7,3
3	8,1	0,42	3,3	10,9
4	10,8	0,37	3,75	14

Tabla 1. Valores obtenidos dependiendo del número de conos en la caída.

En la Figura 4 se representa la resistencia del aire dependiendo de la velocidad terminal de caída. Se constata que no hay una dependencia lineal entre la velocidad y la resistencia. Si se representa, en cambio, la velocidad terminal al cuadrado frente a la resistencia del aire, sí que obtenemos una línea recta. Se comprueba así en el laboratorio que la velocidad de caída influye considerablemente en la resistencia del aire. Se constata de este modo que la resistencia es función de la velocidad de caída del cuerpo al cuadrado. Sin duda, una experiencia didáctica de gran valor para el aprendizaje significativo de la física.

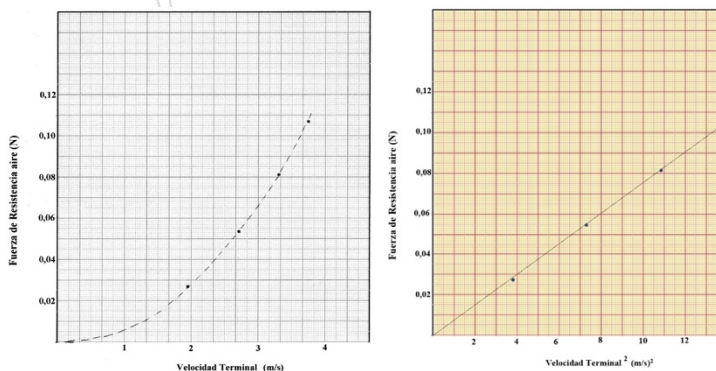


Figura 4. Dependencia de la resistencia con la velocidad terminal. Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

1. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Objetos de distinta masa caen a la vez https://youtube.com/shorts/97w6jL_Xlf8?feature=share (Última consulta 29/3/2026).
2. Drake S. (1989). *History of free fall* Ed. Wall and Thompson, 1.
3. Camarero, Ana; Cassinello, P.; Ruano, M.; Somolinos, C.; Valdés, D. (2022). Aceleración de la gravedad. Demostraciones y prácticas en el aula. *Revista Alambique*, 109, pp. 15-22.
4. Jewett, J.; Serway, R. (2018) *Physics for scientists and engineers*. Editorial Caengage Learning, pp. 150-153.
5. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Ejemplo sencillo de velocidad terminal uniforme <https://youtube.com/shorts/mheY7EXwGrs?feature=share> (Última consulta: 29/3/2026).
6. Canal Youtube: Experimentos didácticos y asequibles. (Pablo Cassinello). Vídeo: Tiempos de caída de conos <https://youtube.com/shorts/-mNXu4Nw1WQ?feature=share> (Última consulta: 29/3/2026).



Pablo Cassinello Espinosa
GEDH, RSEF-RSEQ
DEDF, RSEF
pbccassi@gmail.com

Las imprudencias al volante se pagan: Investigar un accidente urbano por exceso de velocidad con simuladores de MRU en 2.º ESO · Rafael Cabrera Moscoso

La LOMLOE y el Real Decreto 217/2022 han situado las situaciones de aprendizaje en el centro de una enseñanza más contextualizada y competencial.^{1,2} En Física y Química, este planteamiento encaja especialmente bien con algunos contenidos que el alumnado suele resolver de forma mecánica, pero que no siempre comprende en profundidad. El Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU) es un buen ejemplo. Muchos alumnos calculan velocidades, sustituyen datos en una ecuación o leen coordenadas en una gráfica con cierta seguridad. La dificultad aparece cuando deben explicar qué información física contiene esa gráfica: qué representa la pendiente, qué significa que una recta no pase por el origen, cómo se interpreta el signo de la posición o de la velocidad, o qué relación existe entre un relato verbal y su representación gráfica. Estas dificultades han sido descritas en distintos trabajos sobre interpretación de gráficas en cinemática.^{3,4} La situación de aprendizaje “Las imprudencias al volante se pagan” parte de un encargo de la Guardia Civil al laboratorio de Física del centro para investigar un accidente urbano relacionado con un posible exceso de velocidad. El alumnado recibe una historia incompleta formada por croquis, posiciones, tiempos de paso y registros de cámaras. A partir de esas evidencias debe ordenar la información, reconstruir el movimiento de los vehículos y decidir si la hipótesis inicial queda respaldada por los datos. El interés de esta secuencia está en la progresión de simuladores de autor que acompaña la investigación. Cada simulador trabaja una dificultad concreta antes de pasar a la siguiente: localizar objetos respecto a un sistema de referencia, interpretar el sentido del movimiento, relacionar posición y tiempo, conectar tabla, ecuación y gráfica, y comparar el movimiento de dos vehículos. Así, la investigación final no aparece como una aplicación aislada al término de la unidad, sino como el resultado de un recorrido previo en el que el alumnado ha aprendido a leer, representar y justificar movimientos.

Contexto de aula y organización de la propuesta

La situación de aprendizaje está diseñada para 2.º de ESO en la materia de Física y Química. El producto final consiste en un informe sobre un accidente urbano relacionado con un posible exceso de velocidad. Para elaborarlo, el alumnado trabaja en pequeños grupos, analiza distintas evidencias y utiliza cálculos, ecuaciones y gráficas para reconstruir el movimiento de los vehículos.

Elemento	Descripción
Nivel	2.º de ESO
Materia	Física y Química
Contenido central	Movimiento Rectilíneo Uniforme
Contexto	Investigación escolar sobre seguridad vial
Producto final	Informe o conclusión argumentada con evidencias
Recursos principales	Simuladores de autor, actividades guiadas, croquis, tablas y gráficas
Trabajo del alumnado	Lectura de situaciones, reconstrucción de movimientos, cálculo, representación y argumentación

Tabla 1. Síntesis de la organización de la propuesta. Fuente: elaboración propia.

El contexto de seguridad vial permite que el MRU se trabaje como una herramienta para interpretar una situación concreta, y no solo como una colección de fórmulas. Los datos de posición y tiempo se convierten en evidencias que el alumnado debe ordenar, representar y discutir antes de emitir una conclusión. La secuencia combina cuatro tipos de trabajo: simuladores que introducen los conceptos de forma progresiva, actividades guiadas para leer y reconstruir movimientos, una investigación final sobre el accidente y un cierre en el que las conclusiones se justifican mediante datos. El caso incorpora también una dimensión ciudadana. El alumnado no solo calcula si un vehículo supera un límite de velocidad; también interpreta por qué esos límites existen y qué consecuencias pueden tener las imprudencias en un entorno urbano. Por ello, la situación de aprendizaje se vincula con el ODS 3, relacionado con la salud y el bienestar, y con el ODS 11, centrado en ciudades y comunidades sostenibles. La física aparece así como una herramienta para analizar datos y reflexionar sobre la responsabilidad en el uso del espacio público.

Los simuladores como andamiaje didáctico

Los simuladores se utilizan desde el comienzo de la secuencia. Antes de calcular velocidades o escribir ecuaciones, el alumnado debe aprender a leer la escena: localizar el móvil respecto al origen, reconocer el sentido del movimiento y comprender qué significa que una posición o una velocidad tengan signo positivo o negativo.

Para facilitar ese proceso, todos los simuladores mantienen una estructura visual semejante: los mismos ejes, vehículos, colores y formas de interacción. Esta continuidad reduce la carga asociada al manejo de la herramienta y permite centrar la atención en el contenido físico. En las primeras actividades, el alumnado se fija en dónde está un vehículo; después, en cómo se mueve; más adelante, en cómo ese movimiento se expresa mediante tablas, ecuaciones y gráficas. Este uso coincide con una idea habitual en la enseñanza de la física con simulaciones: su valor aumenta cuando permiten explorar relaciones, contrastar respuestas y hacer visibles aspectos del fenómeno que resultan difíciles de seguir solo con una explicación oral.⁵ Cada simulador introduce una dificultad concreta y prepara la siguiente. Algunos trabajan la posición y el sistema de referencia; otros piden describir o reconstruir una escena; otros conectan tabla, ecuación y gráfica; y los últimos permiten comparar dos móviles, estudiar cruces, persecuciones o alejamiento, y reconstruir movimientos a partir de información parcial.

De este modo, la investigación final no se plantea como una aplicación aislada al cierre de la unidad. Llega después de un recorrido en el que el alumnado ha aprendido a situar, representar, comparar y justificar movimientos. Los simuladores actúan así como un apoyo gradual para que las conclusiones sobre el accidente se apoyen en datos y no solo en impresiones.

Progresión didáctica de la secuencia

La secuencia avanza por niveles de representación. En primer lugar, el alumnado trabaja con escenas sencillas de movimiento. Debe decidir dónde están los móviles, qué punto se toma como origen, hacia dónde se desplazan los vehículos y qué significado tienen el signo de la posición y el signo de la velocidad. Esta primera fase permite construir una base común antes de introducir representaciones más abstractas. Después, las actividades dan un paso más: el alumnado no solo observa una escena, sino que debe describirla con lenguaje físico o reconstruirla a partir de un enunciado. Este paso obliga a transformar una situación visual o narrativa en una explicación física: identificar el móvil, fijar el sistema de referencia, reconocer el sentido del movimiento y expresar qué ocurre de manera ordenada. A continuación, se introducen tablas, ecuaciones y gráficas. La intención no es trabajar cada representación como una pieza independiente, sino ayudar al alumnado a reconocer que todas describen el mismo movimiento desde lenguajes distintos. Por eso, las tareas piden completar tablas, deducir ecuaciones, interpretar pendientes, reconocer si un móvil pasa por el origen y seleccionar la gráfica que corresponde a una situación determinada. Esta coordinación entre representaciones resulta especialmente relevante para evitar que la escena, la tabla, la ecuación y la gráfica se aprendan como elementos desconectados.^{6,7} El tramo final de la secuencia introduce la comparación entre dos vehículos. Aparecen entonces los cruces, las persecuciones, los adelantamientos y la posición relativa. Este tramo prepara directamente la investigación final, porque el accidente no se resuelve estudiando cada vehículo por separado, sino analizando cómo cambia la relación entre ambos a lo largo del recorrido.

La tarea competencial final

La investigación final es el momento en el que el trabajo realizado durante la secuencia se transforma en una tarea competencial. El alumnado debe elaborar un informe sobre el posible exceso de velocidad a partir de los datos del caso. Para hacerlo, no basta con aplicar una fórmula: tiene que seleccionar información, interpretar cámaras y croquis, calcular velocidades, escribir ecuaciones, analizar gráficas, comparar el movimiento de dos vehículos y justificar qué conclusión está realmente apoyada por las evidencias. Esta tarea permite movilizar las leyes básicas del MRU para explicar un fenómeno cotidiano, en relación con la competencia específica 1 (CE1). El alumnado traduce una situación real a magnitudes, tablas, ecuaciones y gráficas, y contrasta una hipótesis con datos. De este modo, el razonamiento matemático, el pensamiento científico y la comunicación técnica se integran en un mismo proceso, en conexión con la competencia clave STEM. La tarea también exige trabajar con información presentada en formatos distintos, como plantea la competencia específica 3 (CE3). Los datos no aparecen ordenados en un único ejercicio, sino repartidos entre la historia inicial, los croquis, los tiempos de paso, las tablas y las gráficas. El alumnado debe relacionar esas piezas, decidir qué aporta cada una a la reconstrucción del accidente y comunicar la conclusión de forma comprensible. El contexto de seguridad vial añade una dimensión ciudadana. La cuestión no es solo averiguar si un vehículo iba demasiado rápido, sino comprender por qué los límites de velocidad tienen sentido y qué consecuencias pueden tener las imprudencias en un entorno urbano. Por eso, la conclusión final exige distinguir entre sospecha, inferencia y evidencia, lo que conecta directamente con la competencia ciudadana (CC). Así, la tarea de investigación recoge el trabajo previo con los simuladores y lo transforma en una situación en la que calcular, interpretar, representar y argumentar forman parte del mismo proceso. El valor competencial no se añade al final de la unidad, sino que aparece en la forma de resolver el caso.

Recursos empleados

Los materiales de la situación de aprendizaje se han organizado para que el profesorado pueda consultar el recurso completo o utilizar solo algunas de sus partes. La tabla 2 recoge los principales materiales disponibles, su función dentro de la secuencia y el modo de acceso.

Recurso	Función en la SdA	Acceso
REA completo de la Situación de Aprendizaje	Reúne la guía para el alumnado, las actividades, los simuladores y la tarea final.	https://bit.ly/4cDkDw8
Guía didáctica para el profesorado	Incluye justificación, competencias, referencia curricular, orientaciones de uso y evaluación.	https://bit.ly/4tARn0D
Secuencia de simuladores de MRU	Permite trabajar posición, sistema de referencia, velocidad, ecuaciones, gráficas y movimiento relativo.	https://bit.ly/48ThaIS
Documentos de trabajo de la investigación	Guían el análisis del caso, el tratamiento de datos, los cálculos, las gráficas y el informe final.	https://bit.ly/4tyKDQL
Rúbrica y listas de cotejo	Facilitan la evaluación del proceso, del informe y de la argumentación con evidencias.	https://bit.ly/4tyKDQL

Tabla 2. Recursos empleados en la situación de aprendizaje. Fuente: elaboración propia.

Los simuladores pueden integrarse en la secuencia completa o utilizarse como actividades independientes para reforzar dificultades concretas del aprendizaje del MRU. Esta organización facilita que otros docentes adapten el recurso a distintos ritmos de aula, sin necesidad de reproducir la situación de aprendizaje en su totalidad.

Valor didáctico y transferibilidad

El valor didáctico de la situación de aprendizaje se aprecia en dos planos. El primero es conceptual: la secuencia aborda dificultades habituales del aprendizaje del MRU, como interpretar el significado de una posición, relacionar el signo de la velocidad con el sentido del movimiento, reconocer la pendiente de una recta posición-tiempo o comprender qué indica el cruce de dos móviles en una gráfica. Estas dificultades no se trabajan como ejercicios aislados, sino dentro de una investigación en la que el alumnado debe leer, representar y comparar movimientos.

El segundo plano es metodológico. La secuencia muestra una forma de diseñar recursos interactivos a partir de problemas concretos de aprendizaje. Primero se identifica una dificultad del contenido; después se crea una interacción que la haga visible y manipulable; finalmente, ese aprendizaje se lleva a una tarea más abierta en la que el alumnado debe justificar una conclusión. Esta lógica resulta transferible a otros contenidos de Física y Química en los que sea necesario relacionar datos, modelos y representaciones.

No se presenta aquí un estudio experimental de resultados, sino una experiencia de aula organizada para que otros docentes puedan adaptarla a sus propios contextos. La propuesta se aproxima a una lógica de aprendizaje basado en proyectos, en la que los contenidos se movilizan para resolver una situación abierta y comunicar una respuesta fundamentada.⁸

Uso de la IA en el diseño de los simuladores

La creación de los simuladores contó con apoyo de herramientas de inteligencia artificial generativa durante el desarrollo técnico. Estas herramientas se utilizaron para generar y depurar código, proponer estructuras de interacción y realizar ajustes durante las pruebas de los recursos. Las decisiones didácticas no se delegaron en la IA. La selección de contenidos, la secuenciación de dificultades, la elección de las variables manipulables y la revisión del comportamiento físico de los simuladores fueron realizadas desde el criterio docente. Las herramientas actuaron como apoyo técnico e interlocutor durante el diseño, pero la validación conceptual y pedagógica de los materiales correspondió al docente. Este uso permitió crear simuladores ajustados a necesidades concretas de la situación de aprendizaje. En lugar de adaptar la unidad a recursos ya disponibles, se diseñaron interacciones específicas para trabajar las dificultades previstas: lectura de posiciones, interpretación del sentido del movimiento, coordinación entre representaciones y análisis de movimiento relativo.

Consideraciones finales

La situación de aprendizaje “Las imprudencias al volante se pagan” plantea una forma de trabajar el MRU a partir de una investigación escolar sobre un accidente urbano. El alumnado no se limita a resolver ejercicios cerrados, sino que debe interpretar datos, representar movimientos, comparar dos vehículos y justificar una conclusión sobre un posible exceso de velocidad. La principal aportación del artículo está en mostrar una progresión de simuladores de autor. Estos recursos no se utilizan como complemento visual al final de la explicación, sino como parte de la construcción del razonamiento físico: primero ayudan a situar móviles y leer posiciones; después conectan tablas, ecuaciones y gráficas; finalmente permiten analizar movimiento relativo y reconstruir el caso. Desde el punto de vista docente, la experiencia muestra una lógica de diseño transferible: identificar una dificultad concreta del aprendizaje, crear una interacción que permita trabajarla y llevar ese aprendizaje a una tarea en la que el alumnado deba argumentar con evidencias. Esta estructura puede resultar útil para otros contenidos de Física y Química en los que sea necesario coordinar observación, representación matemática e interpretación física.

Bibliografía

1. Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.
2. Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.
3. McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., y van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), pp. 503-513. <https://doi.org/10.1119/1.15104>
4. Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematic graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762. <https://doi.org/10.1119/1.17449>
5. Dubson, M., Perkins, K. K., Adams, W. K., Finkelstein, N. D., Reid, S., Wieman, C. E., y LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), pp 18-23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
6. Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), pp. 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
7. Klein, P., Muller, A., y Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13, p. 010132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.13.010132>
8. Krajcik, J. S., y Shin, N. (2014). Project-based learning. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2.ª ed., pp. 275-297). Cambridge University Press.

Rafael Cabrera Moscoso
IES Marqués de Comares (Lucena, Córdoba)
rcabreratic@gmail.com

¿Qué hacemos con el aceite usado? Una experiencia didáctica de química con enfoque emocional en Ciclos Formativos de Grado Básico · Estela Peral Elena

El alumnado que cursa los Ciclos Formativos de Grado Básico (CFGB) presenta con frecuencia trayectorias académicas marcadas por el fracaso escolar, la baja motivación intrínseca y, en muchos casos, dificultades de regulación emocional que interfieren con el aprendizaje.^{1,2} Por ello, uno de los grandes desafíos del profesorado que trabaja con estos grupos es diseñar propuestas didácticas que conecten contenidos con experiencias significativas y que resulten motivadoras, curriculares y emocionalmente seguras.

La enseñanza de la química aplicada en la Formación Profesional ofrece oportunidades para satisfacer este propósito: la manipulación directa de materiales, la experimentación y el orgullo de producir un objeto son factores que la investigación en didáctica de las ciencias ha asociado con la mejora de la motivación y la autoestima académica.³ Entre las prácticas químicas accesibles para este nivel, la saponificación destaca por su aplicabilidad en el perfil profesional de Imagen Personal, por su seguridad para llevar a cabo en el aula y por su potencial sensorial y creativo. La situación de aprendizaje propuesta añade una parte innovadora al vincular la química con una metodología basada en el modelo de inteligencia emocional (IE) de Goleman que potencia el desarrollo de las habilidades socioafectivas (autoconciencia, autorregulación, empatía, motivación y competencias sociales).⁴

Este artículo describe el diseño y la puesta en práctica del proyecto, comparte los resultados y discute los aprendizajes obtenidos en el plano científico y en el emocional.

Fundamentos químicos: la reacción de saponificación

La saponificación es la hidrólisis básica de un éster según se indica en la figura 1. Cuando un triglicérido (aceite o grasa) reacciona con una base fuerte, habitualmente hidróxido sódico (NaOH) para obtener jabón sólido o hidróxido potásico (KOH) para jabón líquido, se obtienen glicerol y las sales de los ácidos grasos que constituyen el jabón. El uso de aceite ya empleado en cocina no altera la reacción de saponificación en condiciones normales, aunque sí puede influir en el color, el olor y la consistencia del producto final. Esta variabilidad se convierte en un recurso didáctico para trabajar en el aula la aceptación del error y la incertidumbre.

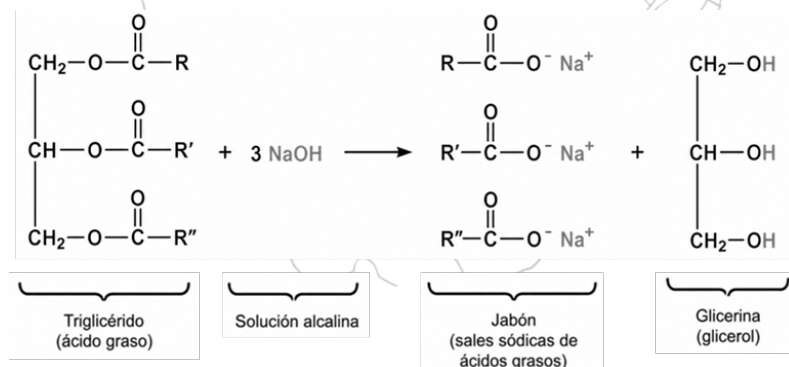


Figura 1. Ecuación química del proceso de saponificación. Fuente: Elaboración propia.

La parte hidrofóbica de la molécula (la cadena hidrocarbonada, R) interactúa con las grasas y suciedad, mientras que el grupo carboxilato (COO^-) es hidrófilo. Esta doble naturaleza anfipática es la que confiere al jabón su capacidad limpiadora, mecanismo de gran relevancia en la práctica diaria del sector profesional de la peluquería y la estética.

Justificación curricular

El punto de partida se centra en un problema real y cotidiano para el alumnado: el aceite reutilizado en la cocina es un residuo que tenemos que gestionar. En algunos hogares se deposita en contenedores específicos o puntos limpios, pero en otros casos, se vierte por el desagüe causando daños ambientales. Ante esta realidad, se propone la pregunta: ¿es posible darle una segunda vida a ese aceite sucio y aparentemente inútil a través de un tratamiento químico para que lo transforme en una materia prima de gran valor? El estudiantado descubrirá la respuesta según vaya avanzando en el proceso.

Esta experiencia educativa responde a las demandas del currículo y a las características del alumnado de los CFGB, permitiendo desarrollar diferentes competencias específicas (CE).⁵ Por una parte, es una situación cercana al contexto real que valora hábitos sostenibles (CE4) y promueve el aprendizaje científico (CE1, CE3, CE6). Por otra parte, fortalece las destrezas personales ya que para obtener el producto final (jabón), el alumnado tendrá que aceptar el error como parte del proceso (imprevistos en la saponificación, fallos en el cálculo del índice de saponificación, etc.) y adaptarse a la incertidumbre del trabajo experimental por variables no controladas (pureza de ingredientes, variaciones en temperatura ambiente). Estos aspectos son dimensiones consideradas en la competencia específica 7 (CE7) del currículo de Ciencias Aplicadas.⁶

Objetivos

- Comprender la reacción de saponificación identificando los reactivos, productos y condiciones necesarias para su desarrollo.
- Aplicar el concepto de índice de saponificación para calcular la proporción de aceite e hidróxido sódico necesarias en la elaboración del jabón.
- Medir y registrar variables (pH y temperatura) durante el proceso experimental.
- Promover el consumo responsable mediante la revalorización del aceite usado.
- Mejorar la implicación y la autoestima académica.
- Fortalecer habilidades emocionales básicas.
- Gestionar la frustración y aceptar el error como parte del proceso experimental.

Metodología

La situación de aprendizaje adopta una metodología activa centrada en el alumnado, que integra la indagación científica, el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje cooperativo en pequeño grupo y la reflexión emocional. Se parte de una situación real y cercana que el estudiantado resuelve con la obtención de un producto tangible, en línea con los principios metodológicos de la LOMLOE.

- Participantes: dos grupos de 1º CFGB Peluquería y Estética, un total de 21 estudiantes con edades comprendidas entre los 15 y 18 años.
- Organización: el alumnado trabaja en grupos heterogéneos de 3 o 4 personas, formados por el profesorado atendiendo a criterios de diversidad de perfiles, niveles y estilos de aprendizaje. Cada miembro asume un rol rotativo por sesión (responsable, secretario, portavoz y, en caso de ser 4, moderador), garantizando la participación activa de todos.
- Temporalización: 6 sesiones de 50 minutos + seguimiento del curado (4 semanas).
- Disposición del aula: se adapta al trabajo en laboratorio con mesas enfrentadas.
- Recursos materiales: materiales básicos de laboratorio, esencias naturales, termómetro, papel indicador de pH, moldes de silicona, EPIs, reactivos (aceite de oliva usado, NaOH, agua destilada) y cuaderno de laboratorio científico-emocional del alumnado.

Secuenciación didáctica

Sesión 1. Presentación del problema: ¿qué hacemos con el aceite usado?

El docente muestra una botella de aceite de oliva usado, oscuro y turbio, y formula la pregunta “¿Qué hacemos normalmente con esto? ¿Dónde acaba?” Se presenta un breve vídeo o infografía sobre el impacto del aceite doméstico en las redes de saneamiento y los ecosistemas acuáticos, y se lanza el reto: “¿podría este aceite convertirse en jabón?”.

Actividades científicas: Introducción a la investigación y familiarización con el cuaderno de trabajo. Plantear hipótesis, materiales, normas y seguridad en el laboratorio.

Actividades emocionales: Registro de 3 palabras que describan cómo se sienten ante la palabra “experimento” (diario emocional). Anotar qué cualidad quiero potenciar en mí.

CE vinculadas: CE3 (formulación de preguntas e hipótesis a partir de la observación del problema) y CE7 (identificación emocional previa a la acción, para comparar al finalizar)

Sesión 2. Investigamos: ¿qué hacemos con el aceite usado?

Actividades científicas: Indagación de la composición química del aceite de oliva: ácidos grasos presentes, propiedades físicas y químicas. Exploración de reacciones entre grasas y soluciones básicas. Procesos exotérmicos. Concepto de índice de saponificación y cálculos necesarios. Recogida de aceite usado procedente de los hogares del alumnado.

Actividades emocionales: Identificación de recursos personales (fortalezas) que ofrecen al grupo, de igual modo que el aceite aporta su estructura molecular para la reacción.

CE vinculadas: CE1 (explicación científica de las propiedades del aceite), CE6 (conexión con el perfil profesional) y CE7 (motivación e identificación de fortalezas personales).

Sesión 3. Preparación y personalización

Actividades científicas: Revisión del procedimiento para la reacción de saponificación y elaboración de una tabla para anotar las variables (temperatura, pH, observación del cambio de la viscosidad). Importancia en la cosmética. Preparación de los materiales.

Actividades emocionales: Elección de esencias, formas y colores vinculados a un recuerdo positivo, que se describe brevemente en el cuaderno. Se trabaja la conexión entre olfato, memoria y emoción (neuroquímica básica del sistema límbico).

CE vinculadas: CE6 (aplicación de conocimientos químicos al contexto profesional de la higiene personal) y CE7 (regulación emocional a través de la memoria olfativa).

Sesión 4. La transformación: observamos el cambio

Actividades científicas: El alumnado lleva a cabo la saponificación: mezcla la disolución de NaOH con el aceite de oliva reutilizado. Registro de variables durante el proceso.

Actividades emocionales: Conexión de la irreversibilidad de la reacción química con las situaciones en la vida que son irrevocables. La respuesta adaptativa no es la negación sino la gestión emocional. Descripción de una situación personal evocada.

CE vinculadas: CE1 (comprensión de la reacción exotérmica e irreversible), CE3 (registro de observaciones experimentales) y CE7 (autorregulación ante la incertidumbre).

Sesión 5. Control de calidad: ¿el jabón ha salido como esperaba?

Actividades científicas: Tras 48 - 72 h de reposo se desmoldan los jabones y se realiza el control de calidad: observación de textura, color y olor. El aceite reutilizado y las esencias añadidas introducen variabilidad inesperada (tonos, aromas y consistencias dispares): no todos los jabones son iguales ni como esperábamos. Tiempo de curado: 6-8 semanas.

Actividades emocionales: Debate. ¿Qué salió de forma diferente a lo esperado? ¿Ha sido un fallo o una consecuencia de la variabilidad de los reactivos? ¿Cómo nos sentimos ante ese resultado? Se lleva al alumnado a reconocer que un resultado inesperado en química no equivale a haber hecho algo mal, sino a aprender algo nuevo, igual que en la vida. Se trabaja la frustración y la aceptación del error como fuente de información, no de fracaso. Diario: escribir 3 emociones que le genere la obtención de su propio jabón.

CE vinculadas: CE3 (análisis de resultados y contraste con hipótesis inicial), CE4 (reflexión sobre la variabilidad de la experimentación y sus implicaciones) y CE7 (aceptación del error como parte del aprendizaje y tolerancia a la frustración).

Sesión 6. Presentación del producto: de un residuo a un cosmético de uso diario

El alumnado presenta su jabón y expone oralmente 3 aspectos: la procedencia del aceite, qué ocurrió durante el proceso desde el punto de vista químico y qué aprendió de sí mismo durante la experiencia. Se empaquetan los jabones y se finaliza recordando que se ha obtenido un producto de valor en cosmética a partir de un residuo sucio de la cocina que genera problemas medioambientales.

CE vinculadas: CE4 (valoración del impacto ambiental del consumo responsable), CE6 (transferencia del conocimiento químico al entorno profesional y cotidiano) y CE7 (habilidades sociales, perseverancia y valoración del propio aprendizaje).



Figura 2. Secuencia de imágenes correspondientes a distintas sesiones de la situación de aprendizaje. Fuente: La autora.

Adaptaciones para atender a la diversidad

- Instrucciones visuales y paso a paso para alumnado con dificultades lectoras (DUA).
- Roles rotativos dentro del grupo cooperativo para garantizar la participación activa.
- Flexibilidad en la expresión de la reflexión emocional: oral, escrita, dibujada o mediante selección de imágenes o emoticonos.
- Cálculo del índice de saponificación simplificado mediante tabla de base de datos.
- Evaluación flexible: se ofrecen alternativas para reducir la ansiedad ante la exposición pública del producto final (presentación oral individual, en pareja o vídeo grabado).

Instrumentos de evaluación

La evaluación se diseña con doble finalidad: valorar los aprendizajes científicos y recoger evidencias del impacto emocional. Se emplearon los siguientes instrumentos:

- Cuaderno de laboratorio científico-emocional: registro con datos experimentales (mediciones, observaciones) y reflexiones personales guiadas por preguntas cerradas y abiertas sobre el estado emocional del alumnado.
- Rúbrica de evaluación diseñada con 3 dimensiones: conocimiento químico, proceso experimental y desarrollo de destrezas personales (CE7) ponderadas al 40/30/30 %.
- Entrevista semiestructurada de satisfacción individual aplicada al finalizar la sesión 6.
- Observación sistemática del docente: registro de incidencias relacionadas con la gestión emocional durante las sesiones experimentales.

Resultados cualitativos

Los datos obtenidos tienen carácter exploratorio y cualitativo, y no se pretende la generalización estadística debido al tamaño reducido de la muestra ($n=21$). Se observó un incremento en la participación activa e implicación del alumnado en las actividades experimentales, aumentando su motivación hacia el aprendizaje y contribuyendo con una mejora en la comprensión del proceso químico. De forma paralela, el estudiantado mostró mayor interés por la química al vincularla con su futuro profesional y con experiencias personales significativas. Se identificaron áreas de mejora relacionadas con la participación equitativa y la comunicación interna, lo que implica la necesidad de seguir desarrollando habilidades cooperativas.

La reacción exotérmica y el cambio de viscosidad generaron asombro y curiosidad: un residuo sucio se estaba transformando en un producto de limpieza. Se registró el comentario de un alumno: “*Mi aceite estaba hecho una mierda y mira qué jabón más guapo. Como yo, que también me transformo, parezco un desastre desde fuera, pero en el fondo valgo millones*”. Varias estudiantes manifestaron sentirse más capaces de “intentarlo de nuevo” después de cometer errores en la proporción inicial y el mezclado. Su jabón con poca consistencia estaba blando y ligeramente pegajoso. Aceptar el fallo y tolerar la frustración sin abandonar la tarea suponen un avance en el fortalecimiento emocional del alumnado.

La presentación oral fue un punto de inflexión en la experiencia: al principio mostraron una actitud de rechazo ante la exposición pública, pero finalmente, su realización generó situaciones de orgullo y reconocimiento mutuo que los propios estudiantes identificaron como poco frecuentes en su experiencia escolar.

Discusión y conclusiones

Los resultados respaldan la evidencia de la literatura científica,³ mostrando mejoras en la motivación, la implicación y la autoestima académica del alumnado cuando se llevan a cabo actividades prácticas y contextualizadas en el aula. La saponificación transforma un residuo en un recurso: esa misma lógica de transformación resuena en un estudiantado que, con frecuencia, se percibe a sí mismo como poco válido para seguir en el sistema educativo. A través de una metodología activa y reflexiva, se desarrollan destrezas personales que ayudan a comprender mejor los procesos científicos y a afrontar la incertidumbre y el error como oportunidades de mejora. Esta propuesta demuestra que la enseñanza de la ciencia puede ser también un aprendizaje de la vida.

La situación de aprendizaje diseñada en el ámbito de Ciencias Aplicadas atiende de forma integrada cinco competencias específicas del currículo: CE1, CE3, CE4, CE6 y CE7, coherente con los principios metodológicos de la LOMLOE. La enseñanza de las ciencias en los CFGB ofrece un marco idóneo para que el alumnado ponga en valor productos considerados inicialmente como desechos, y a convivir con el error, la emoción y la incertidumbre como parte natural del aprendizaje. Se trata de una experiencia replicable cuyo carácter innovador radica en la conexión entre una práctica técnica propia del perfil profesional y un enfoque emocional que responde a las necesidades actuales de la población juvenil.

Bibliografía

1. Fernández Enguita, M., Mena Martínez, L. y Rivière Gómez, J. (2010). *Fracaso y abandono escolar en España*. Barcelona: Fundación “La Caixa”.
2. Fernández-García, A., García Llamas, J. L. y García Pérez, M. (2019). La formación profesional básica, una alternativa para atender las necesidades educativas de los jóvenes en riesgo social. *Revista de Humanidades*, (36), pp. 211-231. <https://doi.org/10.5944/rdh.36.2019.22564>
3. Oje, O., Adesope, O. y Oje, A. V. (2021). Work in Progress: The Effects of Hands-on Learning on STEM Students' Motivation and Self-efficacy: A Meta-Analysis. Paper presented at the 2021 *ASEE Virtual Annual Conference*. <https://doi.org/10.18260/1-2-38204>
- 4 Goleman, D. (1995). *Inteligencia emocional*. Barcelona: editorial Kairós.
5. Orden EFP/754/2022, de 28 de julio, por la que se establece el currículo y se regula la ordenación de la Educación Secundaria Obligatoria en el ámbito de gestión del Ministerio de Educación y Formación Profesional, pp. 332-344.
6. Orden EFP/754/2022, de 28 de julio, por la que se establece el currículo y se regula la ordenación de la Educación Secundaria Obligatoria en el ámbito de gestión del Ministerio de Educación y Formación Profesional, p. 336.

Estela Peral Elena

CIFP Rodríguez Fabrés (Salamanca)

estela.perale@educa.jcyl.es

Algunos experimentos acerca de la combustión de la lana de acero · Juan Antonio Llorens Molina

La comprensión de la naturaleza de la combustión fue un hito fundamental en el desarrollo histórico de la Química y en la comprensión del principio de conservación de la materia. Sobre las dificultades conceptuales implícitas en su enseñanza, existe una extensa bibliografía, entre la que cabe destacar los trabajos de Stavy, R. (1990, 1991). El objetivo de este trabajo es una modesta propuesta experimental, de carácter cualitativo sobre la combustión de la lana de acero, en sistemas abiertos o cerrados. Habitualmente, en los fenómenos cotidianos de combustión, hay una aparente pérdida de masa, ya que tienen lugar en sistemas abiertos, donde se generan productos gaseosos. Por ejemplo, al arder madera o papel, se desprende CO_2 y nos quedan cenizas, cuya masa es menor. El poder llevar a cabo la combustión en un sistema cerrado permite poner de manifiesto el papel del oxígeno como componente del aire. En una línea similar, pueden citarse los experimentos sobre la oxidación de la lana de acero, que consisten en estudiar su corrosión en un sistema cerrado. Cabe mencionar aquí el magnífico artículo de Serrano y Belda (2023) publicado en *Anales de Química*. Sobre la combustión, tal como se propone en este artículo, y para profundizar en el estudio de la conservación de la masa, puede consultarse la siguiente referencia: Adam Equipment (2026). Un experimento clásico, similar al propuesto, consiste en la combustión de una cinta de magnesio para formar óxido de magnesio. El experimento consiste en pesar una cinta de magnesio y calentarla intensamente en un crisol de porcelana hasta que arda, produciendo una luz blanca intensa (empleada como flash en los inicios de la fotografía). El aumento de peso tras la reacción: $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$, puede determinarse volviendo a pesar el crisol una vez enfriado. Este experimento requiere aplicar criterios de seguridad relacionados con el uso del mechero Bunsen y de gafas protectoras, aspectos que pueden soslayarse al estudiar la combustión de la lana de acero según el modo aquí descrito.

La principal innovación que aporta este trabajo radica, no obstante, en el modo de producir la combustión, lo cual conecta con algunos conocimientos de electricidad impartidos en la Educación Secundaria. Por último, sin pretender proponer una guía de actividades, se plantea un conjunto de cuestiones para orientar el aprovechamiento didáctico de los experimentos.

Experimento 1. Variación de la masa durante la combustión de lana de acero en un sistema abierto.

¿Qué material necesitamos?

- Balanza de precisión $\pm 0,01\text{ g}$
- Lana de acero calidad extra-fina (código 0000) (Se utiliza en todos los experimentos)
- Vaso de precipitados de 500 mL
- Pila de 9 V
- Cables de conexión con pinzas de cocodrilo y regleta de empalmes
- Hilo de cobre rígido, habitualmente empleado en instalaciones domésticas.

Realización del experimento

A. En primer lugar, montaremos el dispositivo para producir la combustión de forma segura, sin mecheros ni llamas. En la Figura 1 se muestra el dispositivo:

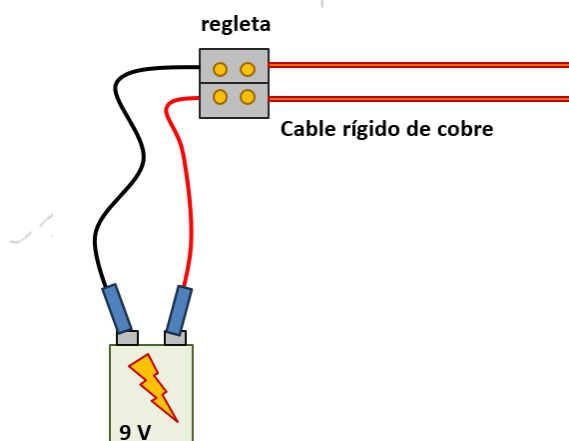


Figura 1. Dispositivo para producir la combustión. Fuente: El autor.

El montaje de este dispositivo presenta algunos aspectos interesantes que permiten explicar cómo y por qué se utiliza. Es una buena ocasión para conectar con conocimientos de física relacionados con la ley de Ohm y el concepto de resistencia. Recordemos las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad I = V/R \quad (2) \quad E = I^2 R t \quad (3) \quad R = \rho l / S$$

La ecuación (1) representa la ley de Ohm, que nos relaciona la intensidad de la corriente (I) con la resistencia (R) y la diferencia de potencial aplicada V (el voltaje de la pila).

La ecuación (2) relaciona la energía disipada por una resistencia en forma de calor, con la intensidad de corriente, la resistencia y el tiempo (t) durante el que se aplica la corriente. A la vista de la ecuación (2) es evidente que, aumentando I , R y t será mayor la energía disipada y podremos elevar la temperatura lo suficiente para que, en el caso de nuestro experimento, se produzca la combustión de la lana de acero.

La ecuación (3) nos da la clave para la realización del experimento: ρ es la resistividad del material, una propiedad característica del mismo; l es la longitud y S es la sección. Para aumentar la resistencia y, por tanto, la energía disipada, lo más sencillo en nuestro experimento es reducir la sección transversal de la fibra de la lana de acero y mantener en contacto unas pocas fibras. En estas condiciones, la combustión se inicia de inmediato.

Una precaución importante en el desarrollo de todos estos experimentos es desengrasar la lana de acero. Ello puede llevarse a cabo introduciéndola en acetona y dejándola evaporar al aire libre o en una vitrina de gases, evitando su inhalación por parte del alumnado.

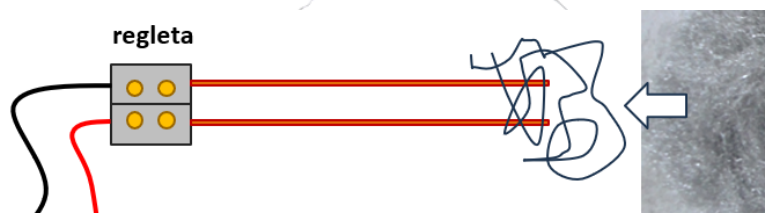


Figura 2. Cómo iniciar la combustión. Fuente: El autor.

B. Introducir lana de acero en el fondo de un vaso de precipitados, tal como se observa en la figura. Conviene situarla en el fondo, ya que, al arder, el ascenso del aire caliente puede provocar que salga material del vaso, lo que nos falsearía la medida de la variación de masa. Puede ser incluso aconsejable cubrir parcialmente el vaso con un vidrio de reloj mientras se produce la combustión.

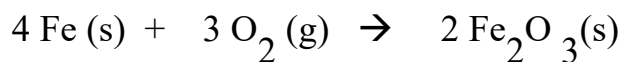


Figura 3. Desarrollo de la combustión. En el ejemplo de la figura, los cables de cobre están directamente conectados a una toma de corriente continua. Es más aconsejable, por seguridad y comodidad, utilizar el sistema propuesto en la figura 1. Fuente: El autor



Figura 4. Lana de acero antes y después de la combustión. Diferencia en el aspecto de la lana de acero antes y después de la combustión. Fuente: El autor.

Para iniciar la combustión, basta con introducir los cables conectados a la pila en la lana de acero. Esta operación puede repetirse introduciendo los cables por distintos puntos hasta completar al máximo la combustión. Es de especial interés invitar al alumnado a observar y explicar el ligero aumento de masa que se produce en esta reacción. Uno de los principales procesos que tienen lugar es:



Con lo expuesto anteriormente, si no ha habido pérdidas accidentales, se explica el aumento de masa observado.

Experimento 2. Combustión de lana de acero en un sistema cerrado. El papel del oxígeno del aire en la combustión.

¿Qué material necesitamos?

- Lana de acero
- Matraz con tapón horadado y tubo de vidrio acoplado.
- Cables de cobre rígidos, conectados mediante pinzas de cocodrilo a una pila de 9 V
- Tubo de silicona unido al tubo de vidrio
- Globo (Como alternativa, puede construirse un manómetro en “U” con dos tubos de vidrio y un trozo de tubo de silicona para la parte curva).

Realización del experimento

- Introducir, a través del tapón, los dos cables de cobre de modo que queden separados aproximadamente 1 cm. Para ello, puede ser necesario taladrar el tapón con la herramienta adecuada.
- Introducir el tapón con los cables, de manera que en su extremo hagan contacto con algunas fibras (pocas) de la lana de acero.
- Inflar un poco el globo y encajarlo en el extremo del tubo de silicona.
- Conectar los cables a la pila y producir la combustión. Observar la variación de volumen del globo.

Es importante hinchar poco el globo para que la disminución del volumen de aire debido al consumo de oxígeno se perciba. Una alternativa al uso de un globo es unir un tubo en “U” con agua (como si se tratara de un manómetro; de este modo es más fácil percibir la disminución del volumen de aire).

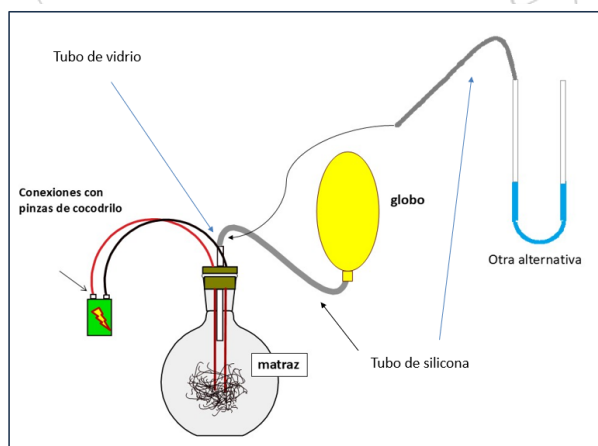


Figura 5. Combustión de la lana de acero en un sistema cerrado. Fuente: El autor.

La dificultad principal de este experimento es lograr que la combustión se produzca en la mayor cantidad posible de lana de acero, e intentar con paciencia mover el matraz y girar el tapón, procurando mantener la estanqueidad, para que la combustión vaya produciéndose en otros puntos de la lana de acero. Por otra parte, la alternativa del tubo en “U” puede ser menos llamativa que el uso del globo, pero mucho más adecuada para percibir el consumo de oxígeno del aire durante la combustión.

EXPERIMENTO 3. Combustión de la lana de acero en una atmósfera rica en oxígeno

¿Qué material necesitamos?

- Dispositivo para el inicio de la combustión
- Lana de acero
- Vaso de precipitados
- Un pedazo de tela metálica que pueda ajustarse en el interior del vaso (como alternativa puede ser útil un colador doméstico)
- Ácido sulfúrico diluido, permanganato de potasio y agua oxigenada comercial (peróxido de hidrógeno), hidrogenocarbonato de sodio, vinagre (ácido acético diluido)

Realización del experimento:

- Añadir en el vaso de precipitados unos 10 mL de agua oxigenada con unas gotas de ácido sulfúrico diluido. Agregar una pequeña cantidad (aproximadamente 1 g) de permanganato de potasio.
- La reacción comenzará produciendo burbujas de oxígeno. En ese momento se coloca la rejilla o el colador y la lana de acero encima.
- Iniciar la combustión y comparar su desarrollo con el observado en el experimento 1.

Este experimento permite poner en evidencia el papel del oxígeno en la combustión al realizarla en una atmósfera más rica en oxígeno, tal y como se observa en la Figura 6.

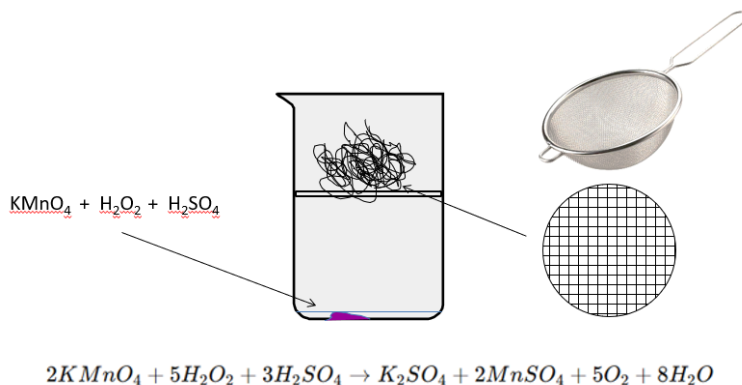


Figura 6. Combustión de la lana de acero en atmósfera rica en oxígeno. Fuente: El autor.

Una derivación interesante de este experimento es realizarlo en una atmósfera rica en CO₂. Para ello, se puede añadir una cucharada pequeña de hidrogenocarbonato de sodio (bicarbonato) a unos 20 mL de vinagre.

Algunas cuestiones de interés para plantear en clase en torno a los experimentos planteados:

- ¿Cómo puede interpretarse el aumento de masa observado en el experimento 1? Observar también e interpretar el cambio en el aspecto de la lana de acero tras la combustión.
- ¿Por qué es necesario que el acero esté en forma de fibras muy delgadas?
- ¿Por qué utilizamos la corriente generada por una pila de 9 V que arda el acero y no podemos conseguirlo con una pila de 1,5 V?
- Cuando se utiliza acero de fibra más gruesa, la pila se calienta mucho, pero el acero ni siquiera llega a ponerse incandescente. Lo mismo ocurre cuando, entre los alambres de cobre que actúan como electrodos hay muchas fibras de acero unidas. ¿Por qué?
- Para que el acero arda bien, es necesario esponjarlo mucho. ¿Por qué?
- ¿Cómo pueden explicarse las diferencias entre el modo de arder la lana de acero cuando la combustión se produce llevando a cabo la reacción entre el permanganato de potasio y el agua oxigenada y cuando se realiza produciendo la efervescencia mezclando vinagre y bicarbonato?
- ¿Qué gas se produce en cada caso? ¿Qué papel tiene cada uno en la combustión?
- Puede ser interesante profundizar en ambas reacciones y proponer también su ajuste estequiométrico.

Bibliografía

- Adam Equipment. (2026) *The Burning Question: A Conservation of Matter Experiment*. <https://adamequipment.com/media/education/Documents/education-experiment-burning.pdf> (Acceso 2-5-2026)
- Serrano, A. T., & Belda, M. P. (2023). Algunas consideraciones y propuestas en torno a la determinación del contenido en oxígeno del aire usando lana de acero. *Anales de Química de la RSEQ*, 119(2), 99-99. <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.1878>
- Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), pp. 501-512.
- Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of research in science teaching*, 28(4), pp. 305-313.

Juan Antonio Llorens Molina
Universitat Politècnica de València
GEDH, RSEF-RSEQ
juallom2@qim.upv.es

Estudio del estrés en la adolescencia y uso de plantas medicinales como alternativa para su gestión · Estrella Prior Santana y Manuel Vélez

El estrés emocional en la adolescencia es una preocupación creciente en el ámbito educativo. La presión académica, el uso intensivo de redes sociales y los cambios propios de esta etapa hacen que muchos jóvenes presenten síntomas como ansiedad, insomnio, nerviosismo o dificultades de concentración a lo largo del curso escolar. Ante esta realidad, la escuela se convierte en un espacio clave para la prevención y el bienestar emocional. Además de transmitir contenidos académicos, resulta necesario ofrecer al alumnado herramientas que le ayuden a gestionar el estrés de forma saludable. En este contexto, el uso de plantas medicinales representa una alternativa natural, accesible y sostenible, fácilmente integrable en proyectos educativos.

La fitoterapia, reconocida por la Organización Mundial de la Salud, avala el uso de determinadas plantas por sus propiedades relajantes suaves. Incorporar estos conocimientos al aula permite conectar la ciencia con la vida cotidiana del alumnado y abordar contenidos de Física y Química desde una perspectiva aplicada y cercana.

El objetivo de este trabajo fue analizar la presencia del estrés en la adolescencia y fomentar su gestión mediante estrategias educativas basadas en el uso de plantas medicinales y el autocuidado emocional en el entorno escolar.

Actividades relacionadas con el proyecto

El proyecto se desarrolló a través de un conjunto de actividades destinadas a sensibilizar al alumnado sobre el estrés y a mostrar, de forma divulgativa, cómo determinadas plantas pueden contribuir a su gestión gracias a su composición química.

Como punto de partida, se realizó un cuestionario online anónimo dirigido al alumnado de Educación Secundaria Obligatoria, en el que se recogía información sobre situaciones estresantes, síntomas físicos y emocionales y hábitos de afrontamiento. Los resultados evidenciaron que el estrés académico es una realidad frecuente, especialmente en periodos de exámenes, y que existe un escaso conocimiento sobre alternativas naturales para la relajación.

De manera complementaria, se llevó a cabo la actividad lúdica “Asocia la planta con el síntoma”, en la que el alumnado relacionó síntomas habituales del estrés con plantas medicinales tradicionalmente utilizadas para aliviarlos. Esta dinámica permitió introducir la idea de que los efectos relajantes tienen una base científica relacionada con la química de las plantas.

MELISA	MANZANILLA	ME CUESTA DORMIR.	NO PUEDO DEJAR DE PENSAR EN UN PROBLEMA.
VALERIANA	TILA	TENGO NERVIOS ANTES DE UN EXAMEN.	ME SIENTO MUY INQUIETO/A.
PASIFLORA	LAVANDA	ME DUELE LA TRIPA POR LOS NERVIOS.	ESTOY TRISTE Y SIN ENERGÍA.

Figura 1. Dinámica “Asocia la planta con el síntoma”. Fuente: Elaboración propia.

Otra de las actividades centrales fue la elaboración artesanal de productos naturales a partir de infusiones de plantas relajantes. El alumnado preparó gominolas, caramelos y chicles aromatizados utilizando melisa, lavanda, manzanilla, tila o pasiflora. A través de esta experiencia práctica se trabajaron contenidos propios de la Física y la Química, como la disolución de sustancias, la **extracción de compuestos hidrosolubles mediante infusión**, el control de la temperatura en los procesos de elaboración y la **liberación de compuestos aromáticos volátiles presentes en las plantas**. De forma divulgativa, se explicó que el efecto calmante de estos productos se debe a la presencia de compuestos químicos activos, como flavonoides, terpenos o alcaloides, capaces de interactuar con el sistema nervioso. Paralelamente, el alumnado investigó distintas plantas medicinales desde un punto de vista científico, relacionando sus propiedades con su composición química (Tabla1).

Planta medicinal	Principales moléculas activas	Acción química	Efecto fisiológico
Melisa (<i>Melissa officinalis</i>)	Ácido rosmarínico, citral, geraniol	Inhibe la degradación del GABA	Calmante, mejora el sueño
Tila (<i>Tilia platyphyllos</i>)	Tiliosida, eugenol	Acción sobre receptores de relajación	Sedante suave
Pasiflora (<i>Passiflora incarnata</i>)	Vitexina, isovitexina, harmina	Interacción con GABA y serotonina	Ansiolítica
Manzanilla (<i>Matricaria chamomilla</i>)	Apigenina, bisabolol	Unión a receptores benzodiazepínicos	Relajante suave
Lavanda (<i>Lavandula angustifolia</i>)	Linalol, acetato de linalilo	Modulación de receptores GABA	Sedante
Valeriana (<i>Valeriana officinalis</i>)	Ácido valerénico	Potencia la acción del GABA	Inductora del sueño

Tabla 1. Resume las principales plantas utilizadas, sus moléculas activas y el efecto relajante asociado.

Como actividad final, se diseñó un “espacio sensorial de relajación” que integraba música ambiental con sonidos naturales, aromaterapia con esencias vegetales y antifaces térmicos elaborados con materiales reciclados y plantas aromáticas. Desde un enfoque divulgativo, se explicó que la aromaterapia se basa en la inhalación de moléculas volátiles que actúan rápidamente sobre el sistema nervioso, favoreciendo estados de calma, mientras que el calor suave contribuye a la relajación muscular y al descanso.



Figura 2. Productos elaborados y “espacio sensorial”. Fuente: La autora.

Resultados y conclusiones

El proyecto puso de manifiesto que el estrés es una realidad frecuente en la adolescencia y que muchos jóvenes desconocen estrategias naturales y científicamente fundamentadas para gestionarlo. Las actividades desarrolladas permitieron sensibilizar al alumnado, fomentar el autocuidado emocional y mostrar la utilidad de la Física y la Química en contextos reales relacionados con la salud y el bienestar.

Agradecimiento

A las alumnas del IES Alba Plata de Fuente de Cantos: Anabel Álvarez, Desirée González, Cecilia Núñez y María Teresa Ortega.

Anexos

Enlace al cuestionario empleado: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSetqgOz9FFZURYd2WsQvsEr0OxjVgJ97dKtYnRRFSWNwzeiKw/viewform?usp=header>

Manuel Vélez
IES Alba Plata (Fuente de Cantos, Badajoz)

Estrella Prior Santana
IES Alba Plata (Fuente de Cantos, Badajoz)
epriors01@educarex.es

Del LHC al aula. Dos semanas en el corazón de la Física: *International High School Teacher Programme*

· Carlos Moreno Borralló

Hay lugares en los que la ciencia deja de ser una sucesión de conceptos escritos en una pizarra y se convierte en una experiencia real. El CERN es uno de ellos. Durante dos semanas de julio de 2025 tuve la oportunidad de participar en el *International High School Teacher Programme*, una estancia internacional de formación para profesores de ciencias que reunió a 46 docentes de 36 países diferentes. Llegamos desde sistemas educativos, lenguas y realidades muy distintas, pero con una inquietud común: comprender mejor la física contemporánea para poder llevarla de vuelta al aula. El programa combinaba conferencias, visitas a instalaciones científicas, exposiciones, talleres prácticos y sesiones de trabajo colaborativo. Desde la primera tarde, con la bienvenida en el CERN, la recepción inicial y una actividad de descubrimiento del laboratorio, resultaba evidente que no se trataba de un curso convencional. El objetivo no era solo actualizar conocimientos, sino entrar en contacto con una cultura científica: una forma de preguntar, medir, contrastar, colaborar y comunicar. El propio programa oficial recoge esa combinación de conferencias, visitas, exposiciones y talleres prácticos orientados a introducir a los participantes en la física de partículas.

Para un profesor, entrar en el CERN supone experimentar una mezcla difícil de describir: curiosidad, respeto, vértigo intelectual y una cierta emoción infantil. Uno llega con imágenes conocidas —el Gran Colisionador de Hadrones, el descubrimiento del bosón de Higgs, los detectores gigantes, los túneles bajo la frontera franco-suiza—, pero pronto comprende que el CERN es mucho más que un icono científico. Es un ecosistema humano y tecnológico dedicado a hacer preguntas fundamentales sobre la materia, la energía y el origen del universo.



Figura 1. CERN Main Auditorium.

Desde el primer día, la sensación fue clara: no estábamos allí para recibir una colección de datos, sino para vivir una forma de hacer ciencia. La ciencia que allí se practica es extraordinariamente sofisticada, pero sus preguntas son profundamente humanas: ¿de qué está hecha la materia?, ¿qué leyes gobiernan sus interacciones?, ¿por qué las partículas tienen masa?, ¿por qué el universo parece estar formado mayoritariamente por materia y no por antimateria?, ¿qué ocurrió en los primeros instantes tras el Big Bang?

Una sala cargada de memoria científica

Uno de los momentos más especiales fue realizar sesiones de trabajo en espacios cargados de historia científica. En particular, trabajar en la sala vinculada al anuncio de 2012 de una nueva partícula compatible con el bosón de Higgs produjo una impresión difícil de olvidar. Al ocupar una de sus sillas, resultaba inevitable pensar en lo que allí se comunicó al mundo: la culminación de décadas de teoría, ingeniería, análisis de datos y cooperación internacional. Para quienes enseñamos ciencia, esa escena tiene un valor simbólico enorme. Allí se hizo visible una de las grandes historias de la física contemporánea: una predicción teórica formulada en la década de 1960 acabó encontrando apoyo experimental casi medio siglo después gracias a una de las máquinas más complejas jamás construidas.

El bosón de Higgs ocupa un lugar singular en el Modelo Estándar de la física de partículas. Su importancia no reside en ser “una partícula más”, sino en estar asociado al mecanismo que permite comprender por qué muchas partículas elementales tienen masa. En el marco del Modelo Estándar, el campo de Higgs permea el espacio, y las partículas que interactúan con él adquieren masa de forma distinta según la intensidad de esa interacción. El bosón de Higgs puede interpretarse como una excitación cuántica de ese campo, del mismo modo que el fotón es la partícula asociada al campo electromagnético. Explicar esto en secundaria no es sencillo, pero precisamente por eso resulta tan interesante. El alumnado suele pensar en la masa como una propiedad evidente de los cuerpos, casi como una característica que las cosas “tienen” sin más. La física de partículas obliga a formular una pregunta más profunda: ¿de dónde procede la masa de las partículas elementales? Esa pregunta, aparentemente abstracta, conecta con uno de los grandes logros intelectuales del siglo XX y con uno de los hitos experimentales más impactantes en la historia de la ciencia.

El Higgs como historia didáctica

El descubrimiento del bosón de Higgs puede convertirse en una historia didáctica completa. Comienza con una pregunta teórica, continúa con un desarrollo matemático, exige la construcción de aceleradores y detectores gigantes, requiere analizar cantidades inmensas de datos y culmina con una interpretación estadística de la evidencia. Pocas historias muestran tan bien la relación entre teoría, experimento, tecnología y colaboración. En el LHC, haces de protones circulan en sentidos opuestos dentro de un anillo de 27 kilómetros. Son acelerados hasta energías extraordinarias y guiados por imanes superconductores que mantienen sus trayectorias dentro del anillo. Cuando esos protones colisionan, no se “rompen” simplemente como pequeñas bolas materiales. Lo que ocurre es más profundo: la energía de la colisión puede transformarse en nuevas partículas, de acuerdo con la equivalencia entre masa y energía. Algunas de esas partículas existen durante tiempos extremadamente breves y se desintegran casi de inmediato, dejando únicamente señales indirectas en los detectores. Esta es una de las grandes lecciones que el CERN ofrece a un profesor: en física de partículas, conocer no significa ver directamente. Significa reconstruir. Nadie observa un bosón de Higgs como quien mira una célula al microscopio. Se infiere su existencia a partir de los productos de desintegración, de la energía depositada en los detectores, de las trayectorias de partículas cargadas, de la conservación del momento y de la comparación estadística entre los datos observados y las predicciones teóricas.

Esta idea tiene un enorme valor educativo. El alumnado suele imaginar que la ciencia consiste en observar algo y extraer una conclusión inmediata. La física de partículas muestra una realidad mucho más rica: la evidencia se construye cuidadosamente. Se diseñan detectores para registrar señales, se filtran eventos, se comparan distribuciones, se estiman fondos, se calculan incertidumbres y solo entonces se puede afirmar que una observación tiene significación física. Enseñar esto ayuda a formar una imagen más realista y madura de la ciencia.

Una ambición creciente

El programa permite recorrer, en cierto modo, parte de la historia del CERN. La visita al Sincrociclotrón y al ATLAS Control Room durante los primeros días mostraba dos extremos de una misma aventura: los inicios de la física de aceleradores en el laboratorio y la complejidad actual de los grandes experimentos del LHC. Estas visitas formaron parte del itinerario inicial del curso, junto con las primeras conferencias de introducción a la física de partículas.

El Sincrociclotrón representa una etapa fundacional. Frente a la escala colosal del LHC, su presencia permite entender que la ciencia de frontera se construye por acumulación: máquinas más pequeñas, preguntas iniciales, mejoras técnicas, nuevos detectores, más energía, mayor precisión. Para un docente ayuda a evitar que el alumnado perciba la ciencia como una sucesión de descubrimientos aislados y permite mostrarla como un proceso gradual, con avances técnicos, límites experimentales y nuevas preguntas. El ATLAS Control Room, por el contrario, sitúa al visitante ante la ciencia contemporánea en funcionamiento. Allí no se ve una partícula, pero se percibe la infraestructura que hace posible detectarla. Pantallas, turnos, sistemas de control, datos, monitorización y coordinación internacional muestran que un experimento de física de partículas es también una organización humana de enorme complejidad. Esa misma idea se reforzó en las sesiones sobre aceleradores de partículas y detectores. Comprender un acelerador exige unir electricidad, magnetismo, relatividad, vacío, criogenia, materiales superconductores e ingeniería de control. Comprender un detector requiere hablar de ionización, radiación, calorimetría, trazas, campos magnéticos, semiconductores, electrónica y tratamiento de datos. Lo que en el currículo aparece a menudo separado en temas distintos se reúne en el CERN en una única máquina conceptual y tecnológica.

Los detectores como catedrales tecnológicas

Uno de los momentos más impactantes del curso fue la visita a CMS. Antes de la visita, una sesión introductoria permitió situar el experimento en el contexto del LHC; después, descender a la zona de servicio y acercarse a la escala real del detector transformó por completo la percepción. Un detector como CMS no se comprende del todo en una imagen. Hay que sentir su escala, imaginar las capas sucesivas de detección y pensar que todo ese dispositivo está diseñado para reconstruir acontecimientos que duran fracciones minúsculas de segundo. ATLAS y CMS fueron concebidos como experimentos de propósito general. Entre sus grandes objetivos estaba la búsqueda del bosón de Higgs, pero su alcance es mucho más amplio: estudian procesos de alta energía, buscan posibles señales de nueva física y realizan medidas de precisión del Modelo Estándar. LHCb, por su parte, se centra especialmente en el estudio de partículas que contienen quarks bottom y en las diferencias sutiles entre materia y antimateria. ALICE explora colisiones de iones pesados para investigar el plasma de quarks y gluones, un estado extremo de la materia que remite a condiciones semejantes a las del universo primitivo. Desde el punto de vista docente, cada detector es una puerta de entrada distinta a la física. CMS y ATLAS permiten hablar de la reconstrucción de eventos y del Higgs. LHCb abre la puerta al problema de la asimetría entre materia y antimateria. ALICE conecta la física de partículas con la cosmología y con la materia en condiciones extremas. Todos ellos muestran que el Modelo Estándar no es una tabla cerrada que se memoriza, sino una teoría viva que se comprueba, se tensiona y se explora experimentalmente.

Los detectores también permiten enseñar una idea fundamental: una partícula se identifica por las huellas que deja. Las partículas cargadas curvan su trayectoria en campos magnéticos; los fotones y electrones depositan energía en calorímetros electromagnéticos; los hadrones interactúan de manera distinta; los muones atraviesan capas que otras partículas no pueden superar. Cada subsistema del detector responde a una pregunta concreta. La reconstrucción final es un ejercicio de inferencia: juntar señales parciales para deducir qué ocurrió en el punto de colisión. Esta lógica tiene una enorme potencia didáctica. Permite conectar la física de partículas con problemas más generales de la ciencia: cómo inferimos lo invisible, cómo distinguimos señal de ruido, cómo interpretamos datos indirectos, cómo validamos un modelo. En realidad, estos procedimientos no son exclusivos del CERN. Están presentes en muchas áreas de la ciencia contemporánea y ayudan al alumnado a comprender que medir no es simplemente mirar, sino construir una relación fiable entre un fenómeno y una señal.

Imanes, control y datos: la ciencia como infraestructura

Los imanes superconductores son esenciales para guiar los haces de partículas del LHC. Su funcionamiento exige condiciones extremas de temperatura, estabilidad y control. Hablar de superconductividad en clase puede parecer, a veces, un contenido abstracto; ver su papel en el funcionamiento de un acelerador permite entender su relevancia tecnológica. El programa también dedicó sesiones a la computación en el CERN y a la visita al Data Centre. Esta parte resulta imprescindible para comprender la física contemporánea. El LHC no solo produce colisiones; produce datos. Cantidades inmensas de información deben ser seleccionadas, almacenadas, distribuidas y analizadas. En una época en la que la inteligencia artificial y el tratamiento masivo de datos forman parte del debate educativo, el CERN ofrece un ejemplo real de cómo la computación es inseparable de la investigación científica moderna.

Antimateria, iones pesados y nuevas fronteras

Las sesiones sobre LHCb, ALICE, antimateria, y futuros colisionadores mostraron que el laboratorio no vive únicamente del pasado glorioso del Higgs, sino de preguntas abiertas. La investigación sobre antimateria tiene un poder narrativo inmediato en el aula. El alumnado suele conocer la palabra por la ciencia ficción o por la cultura popular, y ahí aparece inevitablemente una referencia como *Ángeles y demonios*, la novela de Dan Brown llevada después al cine con Tom Hanks como protagonista. En aquella historia, la antimateria se presenta como un material de enorme poder destructivo, capaz de alimentar una trama de misterio y amenaza. Precisamente por eso resulta una buena puerta de entrada didáctica: permite partir de una imagen popular, exagerada y literaria, para contrastarla con la ciencia real que se desarrolla en el CERN. La antimateria existe, se produce y se estudia experimentalmente, pero no como un recurso energético disponible ni como un explosivo manejable, sino como una herramienta extraordinariamente delicada para investigar simetrías fundamentales de la naturaleza. La visita a la Antimatter Factory fue especialmente sugerente porque conecta una de las ideas más fascinantes de la física moderna con dispositivos reales, medidas concretas y preguntas todavía abiertas. ¿Por qué, si en el origen del universo debieron generarse materia y antimateria en cantidades muy similares, vivimos en un universo dominado por la materia? Esta pregunta, lejos de pertenecer a la ficción, es una de las grandes cuestiones abiertas de la física contemporánea.

La física de iones pesados, asociada a ALICE, permite viajar conceptualmente a los primeros instantes del universo. En colisiones de núcleos pesados a muy alta energía se pueden crear condiciones en las que quarks y gluones no están confinados dentro de hadrones individuales, sino formando un plasma de quarks y gluones. Después del Higgs, la física de partículas no quedó cerrada. Persisten preguntas sobre la materia oscura, la energía oscura, la jerarquía de masas, la gravedad cuántica, la asimetría materia-antimateria o la posible existencia de nueva física más allá del Modelo Estándar. Los futuros aceleradores no son simples versiones más grandes de máquinas anteriores; son apuestas científicas y tecnológicas para seguir interrogando a la naturaleza. Para un profesor, esta parte del programa es especialmente útil porque muestra que la ciencia no es un catálogo de certezas definitivas. El Modelo Estándar funciona extraordinariamente bien, pero no responde a todas las preguntas. Enseñar esto es fundamental: una teoría puede ser muy exitosa y, al mismo tiempo, incompleta. Esta idea ayuda al alumnado a comprender mejor la naturaleza provisional, acumulativa y crítica del conocimiento científico.

Talleres, grupos de trabajo y transferencia al aula

El HST 2025 no fue únicamente una sucesión de conferencias. Las sesiones de mapas conceptuales, los talleres y los grupos de trabajo tuvieron un papel central. Desde el inicio, se nos invitó a organizar ideas, discutir las, reformularlas y transformarlas en propuestas educativas.

Algunas actividades estaban orientadas a la modelización; otras, a la analogía; otras, al diseño de experiencias educativas. Todas compartían una idea: la física moderna necesita buenos relatos, buenas representaciones y buenas preguntas. Los grupos de trabajo fueron una parte esencial del programa. A lo largo de varias sesiones, los participantes colaboramos en equipos temáticos: física de partículas, aceleradores, detectores, computación, aplicaciones médicas, antimateria, experimentos del LHC, ingeniería y futuros aceleradores. En mi caso, participé en el grupo dedicado a las aplicaciones médicas de la física de partículas, una temática especialmente interesante porque permite conectar la investigación con beneficios sociales muy concretos. El trabajo en grupo culminó con presentaciones finales. Este cierre tuvo un valor simbólico: 46 profesores de 36 países no solo habíamos recibido formación, sino que habíamos producido propuestas, compartido recursos y pensado cómo trasladar lo aprendido a nuestras aulas. La experiencia reforzó la idea de que la divulgación y la educación científica no son actividades secundarias respecto a la investigación. Son parte esencial del ecosistema científico.

La dimensión humana de la ciencia

Uno de los aspectos más intensos del HST 2025 fue la convivencia internacional. Compartir formación con docentes de tantos países distintos permitió comprobar que los desafíos de la educación científica son sorprendentemente comunes. Cambian los currículos, los recursos, los sistemas de evaluación o las lenguas, pero muchas preguntas se repiten: cómo despertar vocaciones científicas, cómo hacer comprensible lo abstracto, cómo evitar que la física parezca una disciplina inaccesible, cómo conectar la ciencia de frontera con la experiencia de los estudiantes.

Las actividades sociales —la recepción inicial, la búsqueda del tesoro por el CERN, la salida a Ginebra, la cena oficial, el intercambio internacional de regalos o la cena de despedida— no fueron simples añadidos al programa académico. Formaron parte de la construcción de comunidad. En esas conversaciones informales, muchas veces después de una jornada intensa de física, aparecían ideas educativas, comparaciones entre países, anécdotas de aula y proyectos futuros. Esa dimensión humana ayuda a entender mejor el propio CERN. La ciencia que allí se practica es internacional no solo porque participen instituciones de muchos países, sino porque necesita una cultura de cooperación. Ningún detector, ningún análisis y ningún descubrimiento importante puede



Figura 2: Conferencia de John Ellis.

Fuente: El autor.

entenderse como obra de una sola persona. El CERN encarna una forma de ciencia en la que compartir datos, discutir resultados, revisar análisis y coordinar esfuerzos es tan importante como la brillantez individual.

Esta idea tiene una enorme fuerza educativa. Frente a la imagen del científico aislado, el CERN muestra una ciencia coral. Una ciencia en la que físicos, ingenieros, técnicos, informáticos, docentes, comunicadores y estudiantes forman parte de una misma cadena de conocimiento. Llevar esta imagen al aula es fundamental para que los estudiantes comprendan que la ciencia no es solo una colección de genios, sino una empresa colectiva.

Volver al aula

En mi caso, una de las ideas que más claramente regresó conmigo al aula fue que la física moderna no debe enseñarse como un apéndice final, reservado para cuando “ya se ha dado todo lo demás”. La física de partículas puede actuar como un hilo conductor que da sentido a muchos contenidos clásicos. La dinámica, el electromagnetismo, la energía, la radiactividad, la estructura de la materia, la estadística o la informática no son bloques separados, sino herramientas que permiten interpretar cómo investigamos hoy la naturaleza en sus escalas más pequeñas. El Higgs puede convertirse en el centro de una secuencia didáctica. Los aceleradores pueden servir para reinterpretar el movimiento de cargas en campos magnéticos. Los detectores pueden ayudar a explicar ionización, conservación de la energía, interacción radiación-materia y análisis de datos. La antimateria puede abrir preguntas sobre simetría. ALICE puede conectar partículas y cosmología. Las aplicaciones médicas pueden mostrar que la investigación fundamental tiene consecuencias sociales. Volver del CERN implica regresar con materiales, ideas y ejemplos, pero también con una responsabilidad. La de acercar al alumnado una ciencia que a veces parece lejana y mostrar que sus fundamentos empiezan mucho antes de un gran acelerador: empiezan en una pregunta, en una hipótesis, en una medida, en una gráfica, en una discusión razonada. Empiezan, en realidad, en el aula. Quizá por eso la imagen que permanece no es solo la de los detectores, los túneles o las ecuaciones. Es también la de una sala llena de profesores de todo el mundo intentando pensar cómo contar mejor la ciencia. Una sala en la que resonaba, de algún modo, la memoria del anuncio del bosón de Higgs y, al mismo tiempo, la tarea cotidiana de quienes enseñamos. Entre la frontera de la investigación y la pizarra del aula hay una distancia enorme, pero también un puente posible. Durante dos semanas en el CERN, ese puente se hizo visible.

Enseñar desde la frontera

El CERN enseña física de partículas, pero también enseña una actitud ante el conocimiento. Enseña que las teorías necesitan pruebas, que los datos necesitan interpretación, que la tecnología puede nacer de preguntas fundamentales y que la ciencia avanza mejor cuando se construye colectivamente. Enseña, además, que la frontera de la investigación no está tan lejos del aula como parece: cada vez que un estudiante pregunta de qué está hecha la materia, por qué algo tiene masa o cómo sabemos lo que no podemos ver, esa frontera entra en clase. Participar en el HST 2025 fue, en definitiva, una invitación a enseñar la física contemporánea no como un territorio inaccesible, sino como una aventura intelectual viva. Una invitación a llevar al aula no solo el Modelo Estándar, los detectores o el LHC, sino también la emoción de una ciencia que sigue preguntando. Porque quizá esa sea una de las tareas más importantes de un profesor: no solo transmitir respuestas, sino mantener abiertas las preguntas que hacen avanzar el conocimiento.



Figura 3. Participantes HST 2025

Carlos Moreno Borralló
Ágora International School (Andorra)
cmorenopirineu@gmail.com

La voz de la experiencia

Entrevista al profesor Aureli Caamaño Ros · Luis Moreno Martínez



Aureli Caamaño Ros es una destacada figura de la historia reciente de la enseñanza de la física y la química en nuestro país. Ingeniero químico (1973) por el Instituto Químico de Sarrià, licenciado en Ciencias Químicas (1974) y doctor en Química (1994) por la Universidad de Barcelona, y graduado en Humanidades por la Universidad Pompeu Fabra (2017); dedicó su tesis doctoral a investigar sobre las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la estructura de las sustancias. Ha sido profesor de Física y Química en diferentes institutos de educación secundaria de la provincia de Barcelona desde el año 1974 hasta el 2010, año en el que se jubiló. Durante los años 1974 y 1975 fue profesor interino en el INB Milá y Fontanals de Barcelona, donde había cursado parte del Bachillerato. El verano de 1975 se presentó a las oposiciones en Madrid y obtuvo plaza como Profesor Agregado en el INB Puig Castellar (Santa Coloma de Gramanet). En 1978 se trasladó al INB San José de Calasanz (Barcelona). En 1979 fue nombrado catedrático de Física y Química y obtuvo plaza en el INB Nuestra Señora de Bruguers, en Gavá. Dos años más tarde se trasladó al IES Barcelona-Congrés, donde desarrolló toda su labor docente hasta su jubilación en 2010. A lo largo de sus años de ejercicio profesional ha coordinado e impartido el curso de formación inicial del Profesorado de Física y Química de Enseñanza Secundaria, que conducía a la obtención del *Certificado de Aptitud Pedagógica*, primero en el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad Politécnica de Cataluña (1985-1988) y, posteriormente, en el ICE de la Universidad de Barcelona (1992-2009). Durante los años 2003-2009 coordinó el Programa de Formación del Profesorado de Ciencias de Enseñanza Secundaria de Cataluña. En el curso 2009-2010 impartió asignaturas de Didáctica de la Física y la Química en el Máster de Formación del Profesorado de E. Secundaria como Profesor Asociado en la Universidad de Barcelona. Durante varios periodos de su carrera profesional ha estado en comisión de servicios para desarrollar tareas de formación del profesorado y la elaboración de materiales curriculares. La primera vez, en el ICE de la Universidad Politécnica de Cataluña (1985-1988) y, posteriormente, en dos ocasiones, en el Centro de Documentación y Experimentación en Ciencias (CDEC) del Departamento de Educación de la Generalitat de Cataluña (2001 y 2003-2011). La extensa producción escrita del profesor Caamaño incluye varios libros de texto de Física y Química y obras didácticas de la química, así como unos 140 artículos sobre didáctica de las ciencias. Asimismo, codirige desde su creación las revistas *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* y *Educació Química EduQ*, revista editada por la Societat Catalana de Química. En estas revistas ha coordinado varias monografías que han abordado los conceptos y modelos fundamentales de la química en la ESO y Bachillerato. Las cinco primeras monografías de química de la revista *Alambique* correspondientes al periodo 2015-2020 fueron recopiladas en un libro *Enseñar química. De las sustancias a la reacción química*, publicado por la editorial Graó, una obra imprescindible para el profesorado, especialmente para quienes dan sus primeros pasos en la docencia. Finalmente, cabe destacar tres proyectos de enseñanza de la química en los que el profesor Caamaño ha tenido un papel clave: *Química Faraday* (Teide, 1990), un proyecto para la enseñanza de la química en el Bachillerato basado en la evolución histórica de los conceptos químicos que fue desarrollado en la década de 1980; el proyecto GAIA para la enseñanza de las ciencias en la ESO que se elaboró en los inicios de la reforma educativa de los años 90; y la *Química Salters*, una adaptación al Bachillerato español del proyecto inglés de química en contexto *Salters Advanced Chemistry*.

Hoy las páginas de Faraday se abren para dar voz al profesor Caamaño, cuya experiencia es, sin lugar a dudas, una fuente de inspiración para quienes profesamos el desafiante y fascinante oficio que supone enseñar Física y Química.

¿Cuáles consideras que son los principales retos que afronta actualmente la enseñanza de la Física y Química?

Creo que los principales retos de la enseñanza de la física y la química en la enseñanza secundaria son **disponer de un currículum más contextualizado que el actual y promover y facilitar que el profesorado pueda realizar actividades experimentales de tipo investigativo y de elaboración de modelos**. En las asignaturas de Física y Química se deberían seleccionar las preguntas más adecuadas para iniciar procesos de indagación y modelización escolar en cada uno de las grandes áreas conceptuales de la física y de la química. Se trataría de centrarse en prácticas científicas como la emisión de hipótesis, el diseño de experimentos, la interpretación de datos, el razonamiento, la argumentación y la comunicación. Por otro lado, habría que dejar espacio para abordar las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente y plantear y debatir cuestiones y controversias sociocientíficas. En particular, considero muy importante dedicar más tiempo a aprender sobre la naturaleza de la ciencia y cómo se han desarrollado históricamente los conceptos y modelos de la química y de la física.

¿Qué cambios realizarías en el currículo de Física y Química de ESO y Bachillerato?

El currículum de Física y Química de 3.º y 4.º ESO me parece correcto. Sin embargo, la secuenciación de los contenidos en la mayoría de los libros de texto podría mejorar si se centrara en una progresión adecuada de los conceptos fundamentales a lo largo de los cursos. Por ejemplo, los modelos atómicos y la estructura electrónica sería mejor abordarlos después de indagar sobre la estructura y las propiedades de las sustancias. En la Física y Química de 1.º Bachillerato, en mi opinión se hace demasiado énfasis en la estructura electrónica y el enlace químico y poco en los diferentes tipos de reacciones químicas: ácido-base, precipitación y redox. También se incide muy poco en los aspectos relacionados con la energía y la velocidad de reacción. De este modo, se produce un gran salto entre la química de primer curso y la de segundo, que no favorece una adecuada progresión conceptual. Por último, el currículum de Química de 2.º Bachillerato es probablemente demasiado extenso para poder abordar de forma equilibrada todas las dimensiones de la enseñanza de la química. **Las aplicaciones de la química, las relaciones química-sociedad-ambiente y la historia y la naturaleza de la química deberían tener un papel más relevante en el currículum.**

¿Qué cambios realizarías en la formación de los futuros docentes de Física y Química?

El problema fundamental de los programas de formación de los docentes de Física y Química es el **coordinar adecuadamente los conocimientos pedagógicos y didácticos que se imparten en el Máster de Formación del Profesorado con las prácticas que se realizan en los centros**. Esa coordinación requeriría una selección y formación de los profesores que han de actuar como tutores y una estrecha coordinación entre el profesorado del Máster en la universidad y los profesores-tutores en los centros, para que hubiera una verdadera sintonía entre teoría y práctica. Por otro lado, los currículos del Máster de Formación del Profesorado deberían poner un mayor énfasis en los contenidos de didáctica de la física y de la química y menos en asignaturas de contenidos más genéricos. Un problema adicional es que la formación inicial del futuro profesorado de Física y Química es siempre fundamentalmente en una de las dos disciplinas y no en las dos, como sería deseable.

¿Qué consejo darías a los compañeros que se inician en la docencia de nuestra especialidad?

Que presten atención a los trabajos que se publican sobre didáctica de la física y de la química en revistas especializadas o que publican habitualmente artículos sobre didáctica de estas disciplinas, como *Alambicque*, *Anales de Química*, *Educación Química*, *Educació Química EduQ*, *Eureka*, *Enseñanza de las Ciencias*, etc. y a algunas monografías que se han publicado en los últimos años sobre la enseñanza de la física y de la química en Enseñanza Secundaria. Además, les aconsejaría que traten de **trabajar en equipo y en colaboración con docentes de su centro y de otros centros**, aprovechando al máximo las oportunidades de formación que se ofrecen desde las instituciones educativas, centros de formación del profesorado, etc.

Desde tu perspectiva y experiencia personal, ¿cómo crees que ha evolucionado en las últimas décadas la enseñanza de la física y la química?

En las últimas décadas la enseñanza de la física y la química ha sufrido cambios muy importantes, tal y como han abordado varias investigaciones recientes (Moreno Martínez, 2024; Caamaño y Guitart, 2025). En la década de los 70 recibimos en España el influjo de proyectos anglosajones muy significativos como el CBA, el CHEM, el PSSC, la Física y la Química Nuffield, etc. Ello dio lugar a proyectos autóctonos que renovaron la enseñanza de estas disciplinas incidiendo en aspectos conceptuales y experimentales. Las décadas de los 80 y los 90 vivimos el auge del constructivismo como perspectiva de aprendizaje de las ciencias y a los resultados de una extensa investigación en las concepciones alternativas de los estudiantes. Estos cambios coincidieron con la reforma del sistema educativo con la ampliación de la enseñanza obligatoria hasta los 16 años. En los 90 también nos vimos interpelados por el enfoque ciencia-tecnología-sociedad y la aparición de varios proyectos europeos de física y de química en contexto. La década de los 2000 implicó poner el énfasis en los procesos de indagación y modelización, manteniendo la importancia de la ciencia en contexto.

Referencias bibliográficas

Moreno Martínez, L. (2024). Del concepto al contexto. Tradición e innovación en la didáctica de la química (1950-2000), *Educación Química*, 35, pp. 56-67.

Caamaño, A. & Guitart, F., (2025). La evolución de la enseñanza de la química en la educación secundaria (1970-2025): una perspectiva desde Cataluña, *Anales de Química*, 121 (extra), pp. 231-237.

Aureli Caamaño Ros Catedrático de Física y Química jubilado IES Barcelina-Congrés y Universidad de Barcelona aurelicaaamano@gmail.com	Luis Moreno Martínez IES Enrique Tierno Galván (Parla, Madrid) GEDH, RSEF-RSEQ luis.morenomartinez@educa.madrid.org
---	---

La Física y Química a lo largo del tiempo. Memorias de un viejo profesor: Primeros pasos en la ciencia y la docencia · José Antonio Martínez Pons

El viejo profesor, soy yo. Di mi primera clase a los 16 años, fue de Química a los suspensos en un cursillo de verano y me pagaron 700 pesetas, aproximadamente 4,20 €. Conviene recordar que el poder adquisitivo de las 700 pesetas de entonces era bastante mayor que el actual de 4,20 €. Sirvió para confirmar mi vocación docente. He tenido la suerte de poder vivir de ella.

En aquel entonces el Bachillerato era de seis años, pero antes había que cursar un año, el «ingreso», al final del cual había que hacer un examen ante un tribunal de tres o cuatro profesores de Bachillerato. Se pedían, si mal no recuerdo, entre otras «las cuatro reglas aritméticas», sistema métrico decimal, operaciones con quebrados, un dictado sencillito, algunas nociones de Historia y Geografía de España y capacidad de localizar en un mapa las capitales de provincia y los principales accidentes geográficos de España. También algunas nociones de Ciencias Naturales. Había que pasar una prueba escrita que incluía entre otras cosas algunos problemas de Matemáticas y un dictado. Luego venía una prueba oral ante el tribunal. Normalmente los examinandos debían cumplir los 10 años en el año del examen. Yo solo cumplía 9 y al final fue un pequeño problema. Accedíamos un 30 o 35% de los posibles. Los demás estudiantes eran escolarizados en las «escuelas graduadas» o en centros privados de «cultura general». Salvo casos excepcionales, los chicos y las chicas estudiábamos en centros diferentes, fueran públicos o privados. Al empezar el Bachillerato nuestro primer choque era encontrar que cada asignatura la impartía un profesor diferente. Hasta entonces, tanto en Educación Primaria como en el Ingreso teníamos un único profesor. El mío fue D. Gabriel Ferrando, esposo de una prima segunda de mi padre, a quien mi padre advirtió que precisamente por eso, me «diera duro» y lo cumplió. Nunca le llamé «tío» sino «señor», «profesor» o todos junto «señor profesor».

Mi primer contacto oficial con la Física y Química fue en tercero y cuarto de Bachillerato, pero desde bastante tiempo antes las lecturas de Julio Verne (la primera *La isla Misteriosa*, luego otras muchas más) habían despertado mi interés por las ciencias y «por los experimentos», así como mi ilusión por ser profesor. Dos años más tarde cambió el plan de estudios y la Física y Química empezó a estudiarse en 4.º curso. El bachillerato se dividía en dos tramos: el primero era el llamado Bachillerato Elemental de 4 años, que culminaba con una «Reválida» (tenía otro nombre oficial, creo que «Examen de Grado»), que confería el grado de Bachiller Elemental. La metodología en general que tópicamente se consideraba memorística, consistía en aprenderse unas lecciones y hacer los deberes en casa. Se nos solía preguntar «la lección», había exámenes escritos (algunos avisados, otra sorpresa) y cada trimestre, exámenes trimestrales. No sé si tuve suerte, pero, aunque en Física y Química no pisara un laboratorio, no considero la metodología tan memorística, por ejemplo, nadie me hizo aprender la lista de los reyes godos, sino a relacionar hechos históricos y ubicarlos en su época y desde pronto tuve que escribir «redacciones» sobre los temas más diversos (eso sí, sin faltas de ortografía) y recitar la lección implicaba aprender a hablar en público, además de enfrentarse a las preguntas del profesor siempre con el público, los condiscípulos, delante.

La Reválida, que se realizaba en los institutos y con tribunal de profesores estatales, cubría todo el programa del Bachillerato, no sólo las materias de 4.º. Para presentarse había que tener aprobadas todas y cada una de las asignaturas de los cuatro cursos y constaba de dos pruebas, la primera de «Aptitud» consistía en tres ejercicios: Latín, Lengua Española y Literatura y Matemáticas. Esta prueba se corregía y los que aprobaban pasaban a la siguiente prueba «Calificación», más o menos una semana después de la primera. Se nos advertía que debíamos de acudir al examen con chaqueta y corbata, dada la seriedad de la prueba.

En esta prueba nos examinábamos de las restantes materias. Física y Química era un único examen con la mitad de las cuestiones de cada materia. El promedio global de los 4 cursos contaba como una nota más en este conjunto. Era normal que los colegios privados dedicaran una hora extra diaria a repasar las asignaturas de los cursos anteriores, ya que las notas en las reválidas eran un índice de la calidad del centro. Aprobada la reválida se obtenía el título de Bachiller Elemental, que ya tenía un cierto prestigio y valor, incluso con un curso «puente» especial se podía acceder a algunas titulaciones. La siguiente etapa era el Bachillerato Superior. Constaba de dos cursos, 5.º y 6.º. En esta etapa había que optar por ciencias o letras. Realmente la diferencia era muy pequeña, los de letras estudiaban Latín y Griego y los de ciencias, Matemáticas, Física y Química y también Biología. Detalle curioso es que la mayoría de chicas optaban por letras. Tanto es así había colegios de chicas que solo impartían la opción de letras. Yo tengo una hermana un par de años menor que yo. Cuando le tocó matricularse de 5.º preguntó a nuestro padre de qué se matriculaba. «De lo que te dé la gana» fue la respuesta. Al regresar la preguntó de qué se había matriculado, a lo que respondió «De letras». «¿Y no había otra cosa?» fue la respuesta.

En quinto se estudiaba Química únicamente, porque se suponía que se precisaba menos conocimiento de Matemáticas, y en sexto Física. Los programas eran cíclicos en el sentido de que cada año se veía programa muy similar, pero con un mayor grado de amplitud y profundidad a este método se le suele llamar «en espiral». La Química de 5.º consistía en un repaso y ampliación de la formulación y nomenclatura, algunos conceptos reacciones químicas y sus tipos, de estequiometría y sobre todo química de los elementos: descripción, principales fuentes obtención, aplicaciones de los elementos más importantes. La Física de 6.º tenía mecánica elemental, electricidad, con estudio de circuitos sencillos de corriente continua algo de corriente alterna y, si mal no recuerdo, óptica geométrica. La Reválida de 6.º seguía la misma dinámica que la de 4.º: prueba de «Aptitud», ahora con Matemáticas, Lengua y Física y Química, y de «Calificación», con las restantes materias. Confería el título de Bachiller Superior que abría entonces «muchas puertas».

Cierto es que la Física y Química que se estudiaban eran fundamentalmente teóricas. Los centros tenían laboratorios de Física y Química (y de Biología y Geología) pero raras veces se utilizaban. Yo no recuerdo haber entrado más de una o dos veces en los laboratorios de Física o Química. En el Biología sí entré alguna vez más porque en la Reválida había una prueba práctica «de visu» en que había que identificar algunas plantas, algunos minerales y reconocer algunas obras de arte. Esta falta de laboratorio era posiblemente el peor aspecto de Bachillerato de entonces.

Después se cursaba un Curso Preuniversitario. Inicialmente no incluía Química, solo Física, y tenía un programa que pretendía preparar a los estudiantes para la universidad. Curiosamente incluía tres asignaturas monográficas respectivamente de Lengua, Historia y Filosofía que cambiaban cada año. A mí me tocó «Menéndez Pelayo y la historia de los heterodoxos españoles», «Plazas y provincias africanas de España» y «Constitutivo formal de la persona humana». En teoría no debían existir textos, para preparar a los estudiantes a la toma de apuntes, pero a poco de empezar el curso, las editoriales, bajo cuerda sacaban las respectivas monografías. El examen también con dos pruebas, la primera eliminatoria, se realizaba en la universidad y por profesores universitarios. Como en mi querida Mallorca entonces no había universidad tuve que desplazarme a Barcelona, de cuya universidad dependían las Baleares. Fue la primera vez que salí de la isla. Naturalmente fue en barco y en tercera clase a bordo de la motonave de la Transmediterránea «Ciudad de Burgos». El viaje duró toda la noche. En Barcelona nos alojamos en una residencia universitaria. Quienes no pasaron la primera prueba que recuerdo que incluía un examen oral de la Lengua Extranjera elegida (en mi caso, Francés), consistía en la lectura y traducción sobre la marcha de un texto (en mi caso del Paris Match más una pequeña conversación con el examinador, que a veces no pasaba del «*Asseyez-vous s'il vous plaît, Merci beaucoup Monsieur*»), no teniendo opción de presentarse a la segunda prueba con las restantes materias.

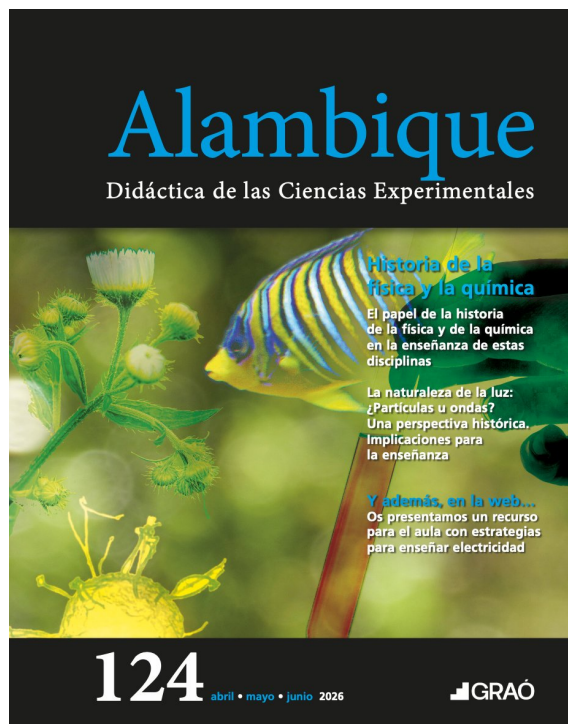
No voy a criticar las virtudes y defectos del sistema. Fue el que fue, con el que me formé y dentro del que empecé mi profesión. Solo añadiré que estudié en un colegio privado, de frailes Franciscanos del que guardo unos magníficos recuerdos y tuve profesores excelentes, sobre todo los de Matemáticas, Historia y Biología, buenos, algunos malos y alguno pésimo, pero todos contribuyeron a mi formación. En el Bachillerato Elemental disfruté de becas del PIO (Patronato de Igualdad de Oportunidades) y en el Superior y Preu de becas de la Fundación Juan March. Como detalle, cada trimestre debía presentar en la Banca March un certificado de mis calificaciones en el trimestre firmado por el director del colegio y la Fundación se reservaba el pagarme la asignación correspondiente si la media de las asignaturas era inferior a 8 sobre 10 puntos, ¡Menos mal que la Educación Física (Gimnasia, vaya) no contaba! La cuantía de la beca empezó siendo de 10.000 pesetas/año y luego subió a 12.000 pesetas. Además había descuentos por Familia Numerosa y por Matrículas de Honor y existían otros premios públicos y privados, yo obtuve uno «a los mejores expedientes académicos». Recuerdo que cuando mi madre (mi padre dejaba estas cuestiones a mi madre) consultó a la Fundación si podía presentarme (la beca era incompatible con otras becas) no solo le dijeron que «podía», sino que «debía» presentarme. La filosofía del sistema era que «el que quiera y pueda intelectualmente, no se quede sin estudiar».

José Antonio Martínez Pons
GEDH, RSEF-RSEQ
jamartinez46@gmail.com

La biblioteca del profesorado



Alambique dedica un número especial al uso didáctico de la historia de la física y la química



Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, revista de la Editorial Graó, ha publicado un número especial dedicado a la utilidad didáctica de la historia de la física y la química para la enseñanza de ambas ciencias. Editado por Aureli Caamaño y Kristina Zuza, en este número monográfico varios autores reflexionan sobre cómo un mayor conocimiento de la historia de ambas ciencias puede ayudarnos a comprenderlas más profundamente y a diseñar estrategias docentes eficaces para su enseñanza y aprendizaje. Este número especial incluye artículos sobre algunos hitos destacados del desarrollo histórico de la física y la química de utilidad e interés para el profesorado de ESO y Bachillerato.

El número completo o los artículos individuales se pueden adquirir en: <https://www.grao.com/revistas/historia-de-la-fisica-y-la-quimica-80817>

Información remitida por **Luis Moreno Martínez**
luis.morenomartinez@educa.madrid.org



El viaje de Bargalló: Una didáctica centenaria y viva, una obra colectiva que recupera el legado del profesor Modesto Bargalló Ardévol

El 23 de abril, Día del Libro, tuvo lugar en Guadalajara la presentación de *El viaje de Bargalló: Una didáctica centenaria y viva*. Se trata de una obra colectiva en la que varios autores han tratado de recuperar el inmenso legado del profesor Modesto Bargalló Ardévol (1894-1981) para la enseñanza de las ciencias, un legado todavía desconocido incluso por quienes profesan su misma profesión. Junto a este libro se ha editado un fantástico facsímil de *Paseos y excursiones escolares*, libro para docentes publicado por Bargalló en 1934.

El viaje de Bargalló ha sido maravillosamente coordinado por el profesor Miguel Mayoral y cuidadosamente editado por la Diputación de Guadalajara, tierra en la que acercó la ciencia a muchas generaciones de jóvenes y docentes. Sin duda, un libro imprescindible para quienes, décadas después, compartimos con el profesor Bargalló la pasión por el maravilloso oficio que es enseñar ciencias y el fascinante desafío que supone tratar de sembrar cultura científica en la sociedad desde las aulas. Esta obra y los valiosos textos de Bargalló son una fuente de gran valor para guiar nuestros pasos como docentes. Una muestra excepcional de que la didáctica de la ciencia tiene una historia centenaria y viva que conviene explorar, recuperar y divulgar.



Información remitida por **Luis Moreno Martínez**
luis.morenomartinez@educa.madrid.org



Nueva mecánica celeste, por Gabriel Barcelón Rico-Avello y Guzmán López Barceló

En el libro **NUEVA MECANICA CELESTE**, recientemente publicado, proponemos una nueva dinámica, específica para los cuerpos en rotación, cuando reciben acciones que intentan modificar su eje de giro: si un sistema con momento angular intrínseco, es sometido a una fuerza o a un par que genera una nueva rotación no coaxial, su respuesta no es una simple superposición de movimientos, sino una evolución espacial característica y diferencial, que se manifiesta en precesión, y orbitación, como expresa el texto.

La **Teoría General de Interacciones Dinámicas (TID)** también descrita en ese texto, ofrece un marco para conocer, argumentar, y predecir esa respuesta en dinámica rotacional, sin recurrir a marcos no inerciales o a fuerzas ficticias, poniendo en primer plano el papel del momento angular y su posible acoplamiento con nuevas acciones. La TID no contradice la mecánica clásica, la amplía en un ámbito concreto, pero frecuente en la práctica, y más en el universo. Su valor diferencial reside en tratar la no coaxialidad como un rasgo físico de primer orden, clarificando la relación entre momento angular, energía y dirección del movimiento. En este artículo se recuerda el desarrollo matemático utilizado en la TID, que nos ha permitido formular una nueva teoría y justificar el comportamiento de la masa acelerada, incluso cuando es sometida a rotaciones no coaxiales. La teoría ha resultado de la realización de pruebas experimentales, que han confirmado las leyes de comportamiento propuestas.

Información remitida por **Gabriel Barceló Rico-Avello y Guzmán López Barceló**
gabarce@tesisasesores.net, gumaloba@gmail.com

Tablón de anuncios



XI Edición del Premio Salvador Senent a trabajos sobre didáctica e historia de la física y la química



El Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, común a la Real Sociedad Española de Física y la Real Sociedad Española de Química, convoca la XI Edición del Premio Salvador Senent, consistente en 1.000 € brutos y un diploma acreditativo. Con este galardón, ampliamente consolidado en el ámbito de la didáctica y la historia de la ciencia en nuestro país, se honra la memoria del Prof. Dr. Salvador Senent, catedrático de Química Física y fundador del GEDH en 1986. Se podrá presentar cualquier artículo relacionado con la didáctica o la historia de la física o de la química publicado en la *Revista Española de Física* de la RSEF o en *Anales de Química* de la RSEQ. Los artículos presentados al premio deberán haber sido publicados con posterioridad a abril de 2025. Asimismo, podrán presentarse aquellos artículos aceptados y pendientes de publicación en dichas revistas dentro del plazo de la presente convocatoria. Se podrán enviar propuestas hasta el **1 de abril de 2027**, inclusive. Desde el GEDH animamos a publicar trabajos de didáctica e historia de la física y la química en *Revista Española de Física* y *Anales de Química* y a enviar candidaturas para esta XI Edición.

Convocatoria y bases de la XI edición: <https://gedh.rseq.org/el-gedh-convoca-la-xi-edicion-del-premio-salvador-senent/>

[xi-edicion-del-premio-salvador-senent/](https://gedh.rseq.org/el-gedh-convoca-la-xi-edicion-del-premio-salvador-senent/)

Para más información: Contactar con el profesor Luis Moreno Martínez en el correo gedh@rseq.org



Premios a la Labor Docente en el Fomento de la Experimentación en Física y Química

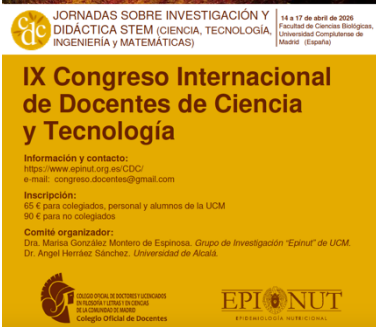
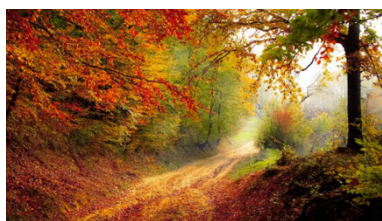
El Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, común a la Real Sociedad Española de Física y la Real Sociedad Española de Química, convoca los Premios a la Labor Docente en el Fomento de la Experimentación en Física y Química. Estos premios tienen por objetivo promover el empleo de demostraciones experimentales en las aulas de Física y Química de ESO, Bachillerato y FP, así como la divulgación de las mismas entre el profesorado a través de los medios digitales y las redes sociales. Asimismo, los premios pretenden reconocer públicamente la labor del profesorado de Física y Química de Enseñanza Secundaria en el fomento de la experimentación, así como reivindicar el valor didáctico actual de las demostraciones experimentales, emblema de la enseñanza de las materias de Física y Química a lo largo de su historia. Los docentes interesados deberán enviar los vídeos y guiones de sus demostraciones experimentales según se detalla en las bases. El plazo de envío de las propuestas será **del 15 de junio al 15 de septiembre de 2026**, inclusive. Los premios incluyen dotaciones económicas destinadas a la compra de materiales didácticos para los centros educativos, así como diplomas acreditativos al profesorado y ayudas de viaje para la asistencia a una jornada sobre didáctica e historia de la física y la química en la que se hará entrega de los premios, la cual tendrá lugar previsiblemente a finales de 2026 en Madrid. Animamos al profesorado a participar en esta iniciativa pensada por y para mejorar entre todos la enseñanza de las materias de Física y Química.



Convocatoria y bases de los premios: <https://gedh.rseq.org/el-gedh-convoca-los-premios-a-la-labor-docente-en-el-fomento-de-la-experimentacion-en-fisica-y-quimica/>

Para más información: Contactar con el profesor Luis Moreno Martínez en el correo gedh@rseq.org

IX Congreso de Docentes de Ciencias y Tecnología



Del 14 al 17 de abril de 2026 tuvo lugar en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid la IX edición del Congreso Internacional de Docentes de Ciencia y Tecnología organizado por el Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de la Comunidad de Madrid y el Grupo de Investigación «Epinut» de la Universidad Complutense de Madrid. Estas jornadas sobre investigación y didáctica STEM congregaron en la capital madrileña a profesorado de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas de distintos niveles educativos y de diversos países. El Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química de las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química (GEDH RSEF-RSEQ) fue una de las instituciones que apoyó el congreso. Asimismo, la conferencia inaugural del congreso, titulada «Didáctica, historia y divulgación de la ciencia: una sinergia fundamental para el profesorado y la sociedad» fue impartida por el presidente del GEDH, el profesor Luis Moreno Martínez. En el congreso también participaron otros miembros de la actual Junta Directiva del GEDH, como el expresidente Gabriel Pinto Cañón y la tesorera del grupo Victoria Alcázar Montero, que impartieron las comunicaciones «Uso didáctico del arte en educación científica y tecnológica: análisis de experiencias y enfoques interdisciplinares» y «Los ensayos a la llama: un caso ilustrativo del conocimiento didáctico del contenido», respectivamente. En este congreso se presentaron interesantes investigaciones y

experiencias didácticas, las cuales serán recogidas en el quinto tomo del libro *Experiencias y estrategias de innovación educativa en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas* que publicará la Editorial SM en 2027. La X edición de este congreso está prevista para la primavera del 2028. Desde el GEDH animamos a docentes e investigadores a participar en este interesante foro de intercambio y diálogo para la enseñanza de las materias STEM en las distintas etapas educativas. Toda la información sobre las distintas ediciones del congreso se puede consultar en: <https://www.epinut.org.es/CDC/9/>.

IV Certamen de Proyectos Educativos en Química

El 29 de mayo de 2026 tuvo lugar el IV Certamen de Proyectos Educativos de Química que organiza la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid bajo el impulso de la profesora Belén Yélamos López. El GEDH ha sido una de las instituciones que ha impulsado esta interesante iniciativa para promover la enseñanza experimental, la investigación y la divulgación de la química entre el alumnado de enseñanza secundaria. El presidente del GEDH, Luis Moreno Martínez, fue uno de los miembros del jurado que constató el talento para la química de los jóvenes madrileños. Más información sobre esta interesante iniciativa para el profesorado y el alumnado de Física y Química de ESO, Bachillerato y Ciclos Formativos de la Comunidad de Madrid en: <https://quimicas.ucm.es/i-certamen-de-proyectos-educativos-de-quimica>



Autoridades, miembros del jurado y participantes del certamen en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid. Fuente: Tribuna Complutense.



El Museo Escolar de Ciencia y Tecnología de Málaga

EL MECYT (Museo Escolar de Ciencia y Tecnología) de Málaga organiza un ciclo de Conferencias de Ciencias, un viernes al mes, viene realizándose desde el mes de febrero 2026 y será hasta el mes de junio 2026 a las 19.00 horas en la sala multiusos de la Biblioteca Cánovas del Castillo, dentro del ciclo Ciencia en la biblioteca, cuenta con divulgadores tan destacados como Pedro Verdeja, Jesús Verdeja, Ángeles Murcia, Sonia Ordóñez, Celia Rodríguez, Virginia Lobato y Estefanía Ríos, Carlos Moreno...



Ciencia en la biblioteca - Un pequeño mundo en tus manos

10 ABRIL

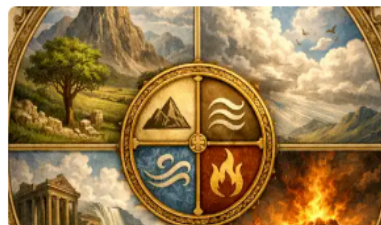
CENTRO CULTURAL MIVA



Ciencia en la biblioteca - La ciencia en Disney y en otros cuentos

13 MARZO

CENTRO CULTURAL MIVA



Ciencia en la biblioteca - Elemental

13 FEBRERO

CENTRO CULTURAL MVA

Figura 1. Algunas de las actividades organizadas por el MECYT.

Información remitida por **Marisa Prolongo Sarria**

marisaprolongo@hotmail.com



XVIII Encuentro de Ciencias Bezmiliana

El Encuentro de Ciencias Bezmiliana tiene su origen en el IES Bezmiliana de Rincón de la Victoria (Málaga). Es uno de los más veteranos de cuantos conforman la Red, acoge a un gran número de entidades y sus estudiantes divulgadores participan en numerosos proyectos nacionales e internacionales. Este curso ha tenido lugar la Feria tradicional celebrada en la Plaza de la Constitución del Rincón de la Victoria, y complementada con otras actividades como charlas, conferencias, exposiciones, etc. Enhorabuena a los organizadores, todo un éxito.



Figura 1. Cartel del XVIII Encuentro de Ciencias Bezmiliana.

Información remitida por **Marisa Prolongo Sarria**

marisaprolongo@hotmail.com



Feria Madrid es Ciencia 2026



Luis Moreno, Aureli Caamaño, Sonia Ruiz, Marisa Prolongo y Gabriel Pinto en La Nave durante la XV Feria Madrid es Ciencia.

Del 19 al 21 de marzo tuvo lugar La Nave, ubicada en el barrio madrileño de Villaverde, la XV edición de la Feria Madrid es Ciencia que organiza la Fundación para el Conocimiento Madri+d. Durante tres días los jóvenes estudiantes de 85 centros educativos de la Comunidad de Madrid se convirtieron en auténticos divulgadores científicos, realizando interesantes y llamativos experimentos ante más de 28.000 visitantes. Asimismo, la feria contó con la participación de diversos centros de investigación, empresas e instituciones académicas, entre las que se incluyen la Real Sociedad Española de Física y la Real Sociedad Española de Química. Varios miembros del GEDH estuvieron presentes en la feria, como Gabriel Pinto y Marisa Prolongo, quienes impartieron dos interesantes ponencias en el Ágora, las cuales se pueden disfrutar en YouTube:

- *La aventura hispanoamericana de tres elementos química* (Gabriel Pinto): https://youtu.be/MvsxXpfAR_s?si=Fwa2u-fjNug4RbeG
- *Encapsulando sustancias: Del jabón a la nanotecnología* (Marisa Prolongo): <https://youtu.be/BJsD8lqVndQ?si=fDatIJWgtQ3T3Bkk>

La próxima edición tendrá lugar previsiblemente del 11 al 13 de marzo de 2027.

Puedes encontrar toda la información sobre este evento central de la divulgación científica madrileña en: <https://www.madrimasd.org/feriamadridesencia/>



VII Congreso Internacional de Didáctica de la Química

Del 21 al 23 de mayo tuvo lugar, en modalidad *online*, la VII Edición del Congreso Internacional de Didáctica de la Química que organiza la Asociación y el Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Galicia.

El GEDH fue una de las entidades colaboradoras y estuvo representado por los vocales Nuria Muñoz, que impartió una de las ponencias plenarias, y Adrián de la Fuente, que fue parte del comité científico del congreso.

Este congreso constituyó un fructífero punto de encuentro entre docentes de química de distintos países y etapas educativas.

Las ponencias y comunicaciones se publicarán previsiblemente en YouTube: <https://www.youtube.com/@colegioquimicosdeg Galicia/videos>



Próximas Jornadas DDD: Disfrutar Divulgando Desinteresadamente

Del 20 al 22 de noviembre tendrá lugar en Zamora una nueva edición de las Jornadas DDD: Disfrutar Divulgando Desinteresadamente. Esta iniciativa, que comenzó en 2005 en Málaga, reúne a decenas de divulgadores de la ciencia que en intervenciones de 5 minutos llevan a cabo diversos experimentos y demostraciones. Se trata de un magnífico punto de encuentro para personas interesadas en la divulgación científica, pero también, para el profesorado de materias STEM en Enseñanza Secundaria, dado el gran valor didáctico de los numerosos experimentos presentados. Toda la información sobre las Jornadas DDD está disponible en: https://dddivulgar.com/?page_id=46





Diverciencia cumple 20 años

Hay proyectos educativos que nacen con la modestia de una idea compartida entre una profesora y sus alumnos y que, con el tiempo, acaban transformando la manera en que toda una comarca entiende la enseñanza de las ciencias. Diverciencia es uno de ellos.

Un patio, una invitación, una revolución

Todo comenzó en el patio del colegio María Auxiliadora de Algeciras. Ana Villaescusa Lamet, profesora de Biología, con esa rara combinación de visión y tenacidad que caracteriza a quienes cambian el mundo, organizó junto a sus alumnos la primera feria de ciencia escolar de la ciudad. Pero no se conformó con celebrarla puertas adentro: invitó a todos los centros educativos de Algeciras a visitarla y, lo que resultó decisivo, les propuso unirse y sacar la Ciencia a la calle.

La Plaza Alta de Algeciras, corazón de la ciudad, se convirtió en escenario de aquella primera edición callejera. Nadie imaginaba entonces que veinte años después esa iniciativa se habría transformado en un referente nacional de ferias de ciencia escolar.

Una feria internacional y miles de jóvenes científicos

Hoy Diverciencia despliega simultáneamente dos eventos: Diverciencia, para alumnado de ESO y Bachillerato en la Plaza Alta, y PequeDiverciencia, para Infantil y Primaria en el Parque María Cristina. Dos plazas, dos públicos, un mismo objetivo: que los estudiantes dejen de ser receptores pasivos de conocimiento y se conviertan en divulgadores de su propia investigación.

En 2016 incluimos, por primera vez, la participación de un centro educativo de Holanda y en 2019 se consolidó la internacionalización de nuestra feria al incorporar la participación de centros educativos y clubes de ciencia de Iberoamérica con los que tenemos firmados convenios de colaboración y que acuden puntualmente a nuestra feria desde entonces.

Las cifras de esta vigésima edición, celebrada los días 6, 7 y 8 de mayo, hablan por sí solas:



Figura 1. Diverciencia en números. Fuente: Diverciencia.

Más de 3.600 estudiantes divulgando ciencia en las calles de Algeciras. Hay un antes y un después de Diverciencia en la forma en que el profesorado del Campo de Gibraltar enseña en sus aulas, y los reconocimientos nacionales e internacionales obtenidos por muchos de sus proyectos lo atestiguan.

Los jóvenes científicos tienen la palabra

La inauguración de esta edición especial, el 6 de mayo, no fue un acto protocolario al uso. Ana Villaescusa moderó la mesa redonda *"Secretos de un proyecto de éxito: Los jóvenes tienen la palabra"*, en la que científicos que hoy desarrollan sus carreras investigadoras dentro y fuera de España, y que fueron alumnos de Diverciencia, reflexionaron sobre cómo aquella experiencia influyó en su elección de estudios y en su trayectoria profesional.

Fue un encuentro memorable y emocionante. Escuchar sus experiencias personales en la participación de ediciones pasadas de Diverciencia y comprobar cómo esa vivencia caló en ellos hasta despertar vocaciones que hoy definen su profesión y su futuro, justifica con creces cada hora invertida en este proyecto y el esfuerzo que hay detrás de la organización de una feria de esta envergadura.



Figura 2. Cartel mesa redonda. Fuente: Diverciencia.

Una mirada atrás, una mirada a la naturaleza

Desde sus inicios, Diverciencia ha promovido la exposición fotográfica "*Una mirada a la naturaleza*", dedicada cada año a un fotógrafo local especializado en el entorno natural de la comarca. En esta edición tan señalada, la muestra llevó por título "**Una mirada atrás**": una selección de imágenes de todas las ediciones anteriores que invitaba a recorrer dos décadas de ciencia y naturaleza.



Figura 3. Cartel exposición fotográfica. Fuente: Diverciencia.

Becas que abren puertas: de Algeciras al mundo

Diverciencia es la **única feria de ciencia escolar en España que cuenta con un programa propio de becas** para su alumnado. Las becas consisten en estancias investigadoras en centros y con científicos de primer nivel:

- **Nacionales:** Dra. Francisca Mulero (Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas), Dr. Darío Lupiáñez (Centro Andaluz de Biología del Desarrollo), Dr. Julio Ríos De la Rosa y Dr. Alfonso Lechuga (Instituto de Investigación e Innovación Biomédica de Cádiz), Dr. Óscar Pernía (Nextport).
- **Internacionales:** Dra. Carmen Infante (Hospital Charité & Max Delbrück Center, en Berlín), Dr. Andrés Payo (British Geological Survey en Nottingham), Dr. Asier Unciti (Universidad de Edimburgo).

Cada año, tras un riguroso proceso de selección, nuestros estudiantes más brillantes de 2º de Bachillerato son acogidos por un grupo de investigación liderado respectivamente por uno de los doctores mencionados. Para estos jóvenes, la experiencia supone una oportunidad transformadora: trabajar codo con codo con científicos en activo, asomarse a la investigación real y confirmar o descubrir que la ciencia puede ser su camino. Desde estas líneas, nuestro más sincero agradecimiento a todos los científicos y equipos que, generosamente, abren sus laboratorios y su tiempo a nuestros alumnos.

El Laboratorio Sonoro de Diverciencia

Como parte de la celebración del vigésimo aniversario, Diverciencia ha estrenado una nueva iniciativa: El Laboratorio Sonoro de Diverciencia, una serie de *podcasts* en la que Ana Ferragut, antigua alumna de la feria, graduada en Biomedicina y Farmacología con Master en Comunicación Científica, se ofreció generosamente a liderar esta iniciativa, entrevistando a los investigadores que a lo largo de estas dos décadas se han implicado en el proyecto. Una forma de dar voz a quienes han hecho posible esta historia y de conservar, en audio, la memoria viva de Diverciencia, que se puede escuchar en los siguientes enlaces:

<https://www.youtube.com/@LaboratorioSonoroDiverciencia>

<https://open.spotify.com/show/3IRKFKYX9Vd70sVvxvOVdD>

Diverciencia, mucho más que una feria: Ciencia durante todo el año

Pero reducir Diverciencia a los dos días de feria que cada primavera llenan de ciencia las calles de Algeciras sería quedarse solo con la parte más visible de un proyecto mucho más amplio. Diverciencia es una asociación de profesores que mantiene viva la divulgación científica durante todo el año mediante un extenso programa de actividades gratuitas dirigidas al alumnado de los centros que forman parte de la red.

A lo largo del curso se organizan conferencias impartidas por investigadores y profesionales de diferentes ámbitos científicos, acercando la ciencia de vanguardia a las aulas y permitiendo al alumnado conocer de primera mano cómo se construye el conocimiento científico.

Entre estas iniciativas destaca “Los Viernes Toca Ciencia”, un taller destinado a niños y niñas de entre 6 y 9 años en el que profesorado voluntario de la asociación despierta la curiosidad científica de los más pequeños mediante experiencias prácticas, experimentos y actividades adaptadas a su edad. Una apuesta decidida por sembrar vocaciones desde la infancia.

Diverciencia también ha desarrollado una importante labor social a través de “Diverciencia Solidaria”, una vertiente del proyecto que lleva talleres y actividades científicas a asociaciones benéficas y al aula hospitalaria de nuestra ciudad. Porque la ciencia, además de generar conocimiento, tiene la capacidad de acompañar, inspirar e incluir.

Esta dimensión permanente del proyecto explica, en gran medida, el impacto que Diverciencia ha alcanzado a lo largo de estas dos décadas. La feria es su gran escaparate, pero el verdadero motor de Diverciencia late durante los doce meses del año en cada conferencia, cada taller y cada actividad que acerca la ciencia a quienes más pueden beneficiarse de ella.

Veinte años sembrando vocaciones científicas

Lo que nació como una pequeña feria en un patio de colegio es hoy un ecosistema de divulgación, formación y oportunidades que ha traspasado fronteras. Nada de esto sería posible sin el trabajo constante y, en muchas ocasiones, silencioso de las personas que sostienen el proyecto. Merece un agradecimiento muy especial la fundadora y expresidenta, Ana Villaescusa Lamet y la actual presidenta de la asociación, Luisa Ballesteros Bailón, así como todos los miembros de la Junta Directiva en cada una de sus etapas, por su compromiso, dedicación y esfuerzo para que Diverciencia continúe creciendo año tras año. Su implicación ha sido fundamental para convertir una iniciativa local en un referente nacional de la divulgación científica escolar. Nuestro agradecimiento se extiende también al Ayuntamiento de Algeciras, que ha acompañado y apoyado este proyecto desde sus inicios, así como a todas las entidades patrocinadoras y colaboradoras que hacen posible su desarrollo. De manera especial, queremos reconocer el respaldo institucional y económico del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química perteneciente a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química y al conjunto de organismos, empresas e instituciones que apuestan por la educación científica. Sin su confianza y apoyo sostenido en el tiempo, muchas de las actividades que conforman el programa anual de Diverciencia, así como la propia celebración de la feria, no podrían llevarse a cabo. Veinte años después, Diverciencia sigue siendo la demostración de que cuando profesorado, alumnado, instituciones y sociedad trabajan juntos por un objetivo común, la ciencia se convierte en una poderosa herramienta de transformación educativa y social. ¡Feliz XX aniversario y larga vida a Diverciencia!

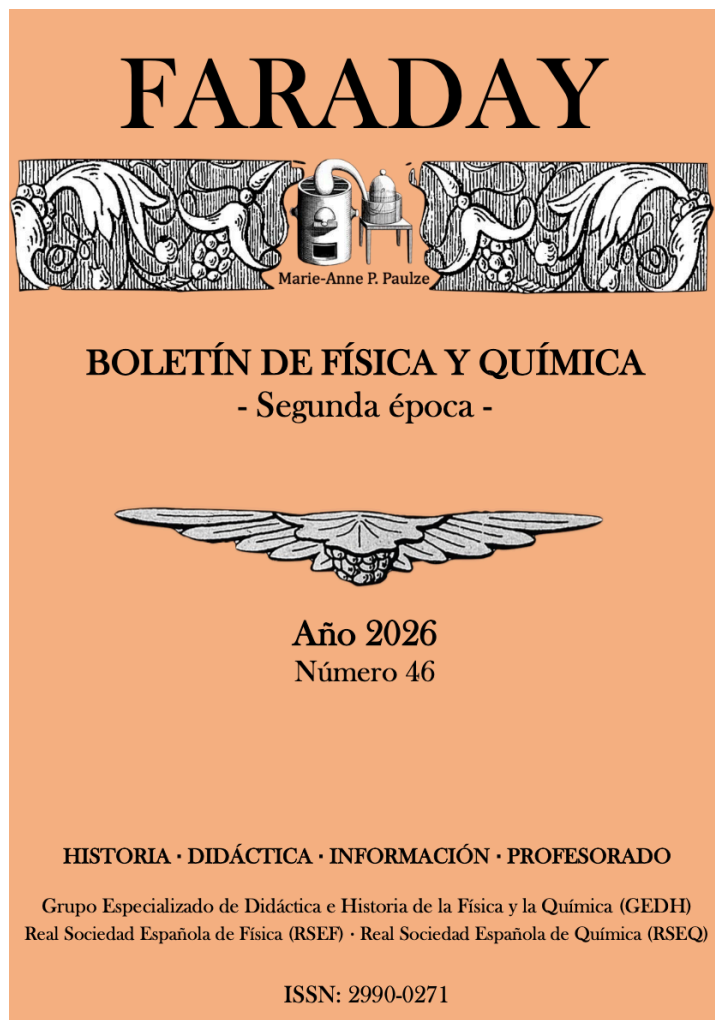


Figura 3. Logo del XX aniversario de Diverciencia. Fuente: Diverciencia.

Información remitida por **Nuria Muñoz Molina**
algenuria@gmail.com



Envía tus contribuciones para el número 46 de *Faraday. Boletín de Física y Química*!



Hasta el **31 de octubre** se pueden enviar contribuciones para el próximo número de *Faraday. Boletín de Física y Química*, cuya publicación está prevista para el mes de diciembre. Animamos a todos los lectores de estas páginas a contribuir a esta modesta publicación con trabajos sobre didáctica, historia y divulgación de la física y la química, así como a enviar reseñas de libros, crónicas de jornadas e informaciones de interés para nuestro público lector. Animamos especialmente al profesorado de Física y Química de Enseñanza Secundaria y Enseñanzas Universitarias a compartir sus quehaceres docentes en nuestras páginas, así como a investigadores en física, química, didácticas de las ciencias experimentales e historia de la ciencia a divulgar sus trabajos en *Faraday*.

¡Nos leemos en diciembre!

Envío de trabajos y contacto:

gedh@rseq.org

Grupo Especializado de **Didáctica e Historia**
de la **Física** y la **Química**



Real
Sociedad
Española de
Física

R.S.E.F.



Real Sociedad Española de Química

Al servicio del profesorado desde 1986

FARADAY

BOLETÍN DE FÍSICA Y QUÍMICA

- Segunda época -

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR GENERAL

Luis Moreno Martínez (IES Enrique Tierno Galván, Parla, Madrid)

EDITORES HONORÍFICOS

Manuela Martín Sánchez (Universidad Complutense de Madrid)

Gabriel Pinto Cañón (Universidad Politécnica de Madrid)

MIEMBROS DE CONSEJO EDITORIAL

Victoria Alcázar Montero (Universidad Politécnica de Madrid)

Marisa Prolongo Sarria (IES Torre del Prado, Málaga)

Nuria Muñoz Molina (Colegio La Inmaculada, Algeciras, Cádiz)

Alejandro Rodríguez-Villamil Hernández (IES Francisco Montoya, Almería)

José Juan Sirvent Carbonell (Colegio Maristas Sagrado Corazón, Alicante)

Héctor Reyes Martín (Colegio Internacional J. H. Newman, Madrid)

Ana María Gayol González (Universidad de Vigo)

Todos los números publicados están disponibles en:



FARADAY:
BOLETÍN DE FÍSICA Y QUÍMICA
- Segunda época -
ISSN: 2990-0271

