Anales de Química de la RSEQ

An. Quím. RSEQ, 2026, 122 (Extra.), 307-311
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2152

La revista de la Real Sociedad Española de Química

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Metodología ABI+D+i, del instituto a la universidad con material grafénico *low-cost*

ABI+D+i methodology, from high school to university with low-cost graphenic material

Daniel Guerrero Moreno y Elena Moncayo Salinas

Red de Centros con Itinerario de Investigación (FAB-IDi), Junta de Andalucía PIN 187/22.

PALABRAS CLAVE:

ABI+D+i
Grafeno
Conductividad térmica
Competencias transversales
Transferencia entre iguales

RESUMEN:

Se presenta la metodología ABI+D+i (Aprendizaje Basado en la Investigación con Desarrollo e innovación) aplicada a un caso real: un proyecto de indagación experimental nacido en el laboratorio escolar y prolongado hasta la universidad, centrado en la producción de material grafénico por exfoliación física en fase líquida de bajo coste y su colocación sobre sustratos metálicos por flotación validados mediante caracterización (SEM, HRTEM, Raman, XPS) y ensayos de conductividad térmica (+130 % en aluminio grafenado). El caso incluye además una nomenclatura propia (grafenización y grafenación), con respaldo morfológico en español e inglés. La transferencia entre iguales del proyecto a una red de centros de secundaria confirma la escalabilidad de la metodología y su capacidad para despertar vocaciones científicas.

KEYWORDS:

ABI+D+i
Graphene
Thermal
Conductivity
Transversal competences
Peer-to-peer transfer

ABSTRACT:

This work presents the ABI+D+i methodology (Research-Based Learning with Development and innovation) applied to a real case: an experimental inquiry project born in the school laboratory and extended to university level, centred on the production of graphene through a low-cost liquid-phase physical exfoliation method and its placement onto metallic substrates by flotation, validated through characterisation (SEM, HRTEM, Raman, XPS) and thermal-conductivity tests (+130% in graphene-coated aluminium). The case also includes a dedicated nomenclature (graphenization and graphenation), with morphological grounding in both Spanish and English. The project's peer-to-peer transfer to a network of secondary schools confirms the scalability of the methodology and its capacity to awaken scientific vocations.

Introducción

La experimentación es el corazón de la química, pero en secundaria suele quedar reducida a prácticas cerradas de tipo receta: el alumnado reproduce un guion conocido y rara vez se enfrenta a una verdadera incógnita o a situaciones nuevas y desafiantes.

Frente a ese modelo, la metodología ABI+D+i, aplicada en materias como «Jóvenes Investigadores», convierte la investigación en situación de aprendizaje. Con ella el alumnado desarrolla las competencias clave y también competencias transversales o *soft skills*, cada vez más demandadas y en muchos casos más valoradas que las competencias técnicas específicas.[1]

Este trabajo presenta la metodología a través de un caso real: un proyecto de indagación abierta en torno al grafeno, producido con medios caseros y de bajo coste. El grafeno, una única capa de átomos de carbono de la estructura del grafito,[2] reúne propiedades excepcionales, entre ellas una alta conductividad térmica.[3] Su principal limitación sigue siendo la producción a gran escala manteniendo la calidad. En 2014, el grupo de Coleman demostró que es posible obtener grafeno de pocas capas por exfoliación por cizalla en fase líquida a partir de grafito, agua y un tensioactivo.[4] Ese procedimiento se adaptó aquí a un montaje reproducible en el aula.

El trabajo describe en paralelo el valor pedagógico de la metodología ABI+D+i, el alcance científico que puede lograr una investigación escolar, el desarrollo de competencias transversales a través de una cuestión terminológica y el valor del aprendizaje entre iguales.

Metodología

El Aprendizaje Basado en la Investigación (ABI) aplica el método científico como herramienta en el aula. El alumnado diseña una investigación completa en cualquier área de conocimiento tutorizado por el profesor.[5] Puede integrarse en materias como Cultura Científica (4.º de ESO y 1.º de Bachillerato), dando mayor peso al proyecto en la evaluación. También en materias de diseño propio como «Investigación avanzada», donde cada alumno plantea un proyecto para presentarlo en certámenes internacionales.[5]

© 2026 Real Sociedad Española de Química

CÓMO CITAR: D. Guerrero Moreno, E. Moncayo Salinas. *An. Quím. RSEQ* **2026**, 122, 307-311, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2152

* C-e: guerreromorenod@gmail.com

Manuscrito recibido: 15/07/2026 · aceptado: 22/10/2026

Al incorporar las fases de desarrollo e innovación del I+D+i se obtiene la metodología ABI+D+i, desarrollada en la Red de Centros FAB-IDi de la Junta de Andalucía y descrita por Naz Lucena.[6] En la fase de investigación, el alumnado parte de los saberes básicos trabajados en clase, observa un problema de su entorno, plantea una hipótesis y diseña un experimento para confirmarla o refutarla. Cuando esa investigación se traduce en un producto útil para la sociedad o el medio ambiente, se pasa a la fase de desarrollo. La innovación llega cuando ese producto es mejorado, por los mismos estudiantes en cursos posteriores o por otros de cursos inferiores, lo que reinicia el ciclo (I+D+i cíclico).[6]

Un segundo principio es el de «a hombros de gigantes».[6] El alumnado descubre que la ciencia avanza gracias a los aciertos y errores de quienes la practicaron antes. Si documenta bien su trabajo (memorias, pósteres, presentaciones y conferencias grabadas), se convertirá a su vez en el «gigante» sobre el que se apoyen futuros compañeros del centro. Este principio sostiene la transferencia entre iguales descrita más adelante. A ello se suma una relación positiva con el error: equivocarse forma parte del método científico y es condición necesaria para avanzar.[5]

Entre sus ventajas destacan la motivación del alumnado y del profesorado y la integración en la programación mediante unidades didácticas integradas. También la atención a la diversidad, incluido el alumnado de altas capacidades,[5] y la posibilidad de culminar el proceso ante una audiencia amplia en congresos o certámenes.

El caso aquí presentado recorre el ciclo completo. Un alumno de secundaria diseña y ejecuta una investigación y la comunica mediante memoria, póster y presentación ante jurados nacionales e internacionales. De ella nace un segundo proyecto que vuelve a recorrer el ciclo. Hoy esa línea continúa con nuevos alumnos de instituto, tutorizados por el propio exalumno.

Desarrollo de la metodología

Conceptos

Siguiendo el principio de «a hombros de gigantes», toda innovación se apoya en conocimientos anteriores. Por eso el proyecto parte de conceptos básicos de química: la estructura atómica y el enlace químico, las propiedades de los materiales y la termodinámica básica.

La indagación abierta no limita de antemano lo que el alumnado puede intentar, y le permite equivocarse. Cada alumno, pareja o grupo avanza a su ritmo dentro de una exigencia mínima común, sin límites artificiales y atendiendo a las necesidades individuales.

Primer trimestre: observación, hipótesis y diseño

Observación. Al inicio del curso se anima al alumnado a observar su entorno y a hacerse preguntas, apoyándose en trabajos de años anteriores, documentales u otros recursos. En este caso, el punto de partida fue que el grafeno, pese a sus grandes capacidades, es caro de producir. Eso llevó a plantear si podría replicarse algún método de producción de forma casera.

Hipótesis. A partir de lo observado, el alumnado formula una predicción. Aquí, la hipótesis fue que es posible producir grafeno replicando el proceso del grupo de Coleman con materiales de un laboratorio escolar,[4] y que, colocado sobre aluminio, mejoraría su capacidad de transferencia térmica.

Diseño de la investigación. El proyecto busca una nueva forma de mejorar la transmisión del calor en materiales, con posible aplicación industrial. Para ello se compara si el aluminio grafenado conduce el calor con mayor eficacia que el aluminio sin tratar. Como sustratos se emplearon estrellas de calor y latas de aluminio recicladas. El diseño contempla la comparación sistemática entre muestras tratadas y sin tratar en las mismas condiciones.

Segundo trimestre: del diseño a la práctica

Producción del grafeno (grafenización)

Se siguió el método del grupo de Coleman,[4] adaptado a un entorno doméstico y escolar: una exfoliación física en fase líquida. En un recipiente de 3 L se mezclaron 0,5 L de agua destilada, 35 g de grafito en polvo y unos 25 mL de detergente tensioactivo (Fairy). La mezcla se batió durante 30 minutos con una batidora de cocina de 400 W (Figura 1).



Figura 1. Materiales empleados.

El fundamento es la exfoliación por cizalla. El flujo turbulento de la batidora vence las débiles fuerzas de Van der Waals entre las láminas del grafito, y el tensioactivo estabiliza los copos exfoliados en suspensión e impide que vuelvan a apilarse. Durante el batido se forma una espuma en la que flota el grafeno de pocas capas, por ser el material más ligero, mientras las impurezas y el grafito sin exfoliar sedimentan en el fondo (Figura 2).



Figura 2. Proceso de grafenización: mezcla, batido y espuma resultante.

Colocación por flotación (grafenación)

Para recubrir el sustrato se aprovecha esa misma espuma, donde se concentran los copos más ligeros, de menor número de capas y más próximos al grafeno monocapa. El sustrato se sumerge en ella con unas pinzas, se extrae y se deja secar. Al descomponerse la espuma, los copos quedan depositados sobre su superficie, y un suave soplado y pequeñas vibraciones retiran los restos más gruesos (Figura 3).



Figura 3. Proceso de grafenación.

© 2026 Real Sociedad Española de Química

Diseño de los experimentos

En el primer experimento se calienta con un mechero Bunsen una estrella de transmisión de calor y se mide con un termómetro la temperatura en el extremo de su rama de aluminio, con y sin grafeno.

En el segundo se emplean latas de aluminio grafenadas en distintas zonas (solo la parte inferior, solo la superior o todo un lateral) y latas sin grafenar. El calor se aplica siempre en la zona inferior y la temperatura se mide en tres puntos: superior, inferior e interior.

Aunque el montaje no emplea reactivos peligrosos, el alumnado establece también pautas de trabajo seguro: bata, guantes, mascarilla y gafas para manipular el grafito en polvo y evitar su inhalación.

Documentación y papel del tutor

Los datos se incorporan a plantillas compartidas (memoria, resumen, póster y presentación) en Google Drive, según el esquema de documentación y tutorización ya empleado en otras redes de investigación de secundaria en Andalucía.[7]

Durante todo el proceso, desde el diseño experimental hasta las pautas de seguridad, las decisiones las toma el propio alumno. El tutor no resuelve el trabajo, sino que lo acompaña: ayuda a plantear las preguntas adecuadas, orienta ante dudas o bloqueos y revisa las propuestas. Pero deja que sea el alumno quien diseñe, decida y, en ocasiones, se equivoque.[5] Es precisamente en esos errores donde se produce buena parte del aprendizaje real.

Tercer trimestre: resultados y comunicación

En la última fase se comunican los resultados ante el tutor, los compañeros, un tribunal o un congreso. Saber comunicarlos, incluidos los que no confirman del todo la hipótesis, es una competencia tan científica como el propio experimento.

En este proyecto, los resultados confirmaron la hipótesis de partida: el aluminio grafenado mostró mayor capacidad de transmisión y de disipación del calor que el aluminio sin tratar (Figura 4). En las latas, la diferencia de temperatura entre el punto de incidencia del calor y el punto opuesto fue menor en todos los modelos grafenados. El más eficaz fue el grafenado en la mitad de la lata, de abajo hacia arriba.[8] Los resultados se recogieron en memoria, presentación y póster, y se defendieron oralmente.

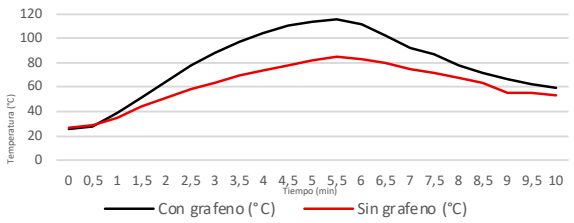


Figura 4. Evolución de la temperatura en la rama de aluminio de una estrella de calor con y sin grafeno.

En el curso siguiente, el mismo alumno busca una aplicación concreta en un segundo proyecto, «Determinación de transferencia y dispersión de calor en discos de aluminio y aluminio grafenado, simulando discos de freno».[9] Incorporando así el ciclo de desarrollo e innovación a la metodología.

Más allá del instituto

Al obtenerse con materiales domésticos, los resultados planteaban la duda de si el material era realmente grafeno. La oportunidad de resolverla llegó con el Certamen «Jóvenes Investigadores» del Ministerio de Universidades. El trabajo obtuvo el tercer premio y una beca para una estancia en el grupo Nanoscopy on Low Dimensional Materials (NLDM) del Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA-CSIC), dirigido por el Dr. Raúl Arenal. Allí las muestras se caracterizaron mediante SEM, HRTEM, Raman y XPS.

Esta caracterización matizó, sin desmentir, el hallazgo del instituto. Mostró un orden estructural de largo alcance y nanopartículas con estructura similar al fullereno, que los investigadores del CSIC señalaron como posibles contribuyentes al aumento de la conductividad térmica observada. Confirmó así que el método casero produce un material grafénico real, de pocas capas y con defectos, compatible con el comportamiento observado en el aula.

La validación en el CSIC abrió una segunda ampliación en la Facultad de Tecnología Mecánica de la Universidad Politécnica de Varsovia. Allí se repitió el ensayo con un equipo Hot Disk TPS 2500 S sobre discos de aluminio y cobre, grafenados y sin grafenar. Los resultados confirmaron cuantitativamente lo observado en el instituto: los discos de aluminio grafenado alcanzaron una conductividad térmica media de 86,38 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, frente a 37,64 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ sin tratar, lo que supone un incremento del 130 %.

Del laboratorio escolar a la red de centros

Nacido en un aula de 1° de Bachillerato, el proyecto se convirtió en una línea de investigación con premios nacionales e internacionales y una beca del CSIC, y se presentó ante todo tipo de público. Después continuó en la Universidad de Perugia, la Universidad Politécnica de Varsovia y la Universidad Politécnica de Madrid. En esta última, unos ensayos de tracción sobre probetas grafenadas apuntan a un aumento de la elongación del material antes de rotura,[10] un resultado preliminar que abre una nueva línea de investigación sobre las propiedades mecánicas conferidas por la grafenación.

Paralelamente, el proyecto se transfirió a la Red de Centros con Itinerario de Investigación (FAB-IDi) de la Junta de Andalucía, en el marco de los Proyectos de Innovación Educativa PIN 187/22 y PIN-562/25. En el IES Gran Capitán de Córdoba, el alumnado recibe una clase inicial sobre el método y trabaja tutorizado por sus profesores y asesorado por el autor original del proyecto. Esta transferencia entre iguales, en la que quien fue alumno-investigador acompaña a los nuevos, resulta especialmente motivadora para los estudiantes (Figura 5).



Figura 5. Exalumno co-tutorizando un proyecto de grafeno con alumnado del IES Gran Capitán (Córdoba).

© 2026 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2152

Una nomenclatura propia

Al ser el grafeno un material con poco recorrido histórico, las derivaciones de este sustantivo no están desarrolladas. Este trabajo propone, por primera vez, una nomenclatura precisa y diferenciada para sus dos procesos fundamentales: la producción de grafeno y su aplicación sobre un sustrato.

En inglés, *graphene* procede de *graphite* y sigue sus mismos procesos de formación de palabras. Igual que *graphite* deriva en *graphitize*, *graphene* deriva en *graphenize* («producir grafeno»). El sufijo -ize es el más productivo en la formación de verbos denominales resultativos («convertir algo en») según la clasificación de Gottfurcht,[11] y se ajusta a los requisitos fonológicos y al patrón de acentuación de la base. De él se forma el sustantivo *graphenization*, con el sufijo -ation, habitual en los verbos en -ize.[12] Para «aplicar grafeno sobre algo» se propone *graphenate*, ya que -ate es altamente productivo en la categoría ornativa («aplicar algo a»).[11] De él deriva *graphenation*, pues -ion se añade a los verbos terminados en -ate.[13]

En español, siguiendo la Nueva gramática de la lengua española, el sufijo -izar, de origen griego y especialmente productivo en el lenguaje científico y técnico, forma verbos con el significado de «hacer, convertir en».[14] Es, por tanto, el equivalente funcional del inglés -ize. Así, igual que existen grafitizar y grafitización, se proponen grafenizar y grafenización para el proceso de producir grafeno. Para su aplicación sobre un sustrato, los verbos denominales en -ar como estañar («aplicar estaño»)[15] permiten proponer de forma análoga grafenar y grafenación.

Conclusiones

Desde el punto de vista pedagógico, el proyecto demuestra que la indagación abierta es viable en el aula de instituto sin infraestructura especializada. Un material de frontera como el grafeno, producido con una batidora, grafito y detergente, puede ser el punto de partida para que el alumnado desarrolle sus competencias. El papel del docente es determinante, no como transmisor de respuestas, sino como guía que orienta sin sustituir y convierte el error en aprendizaje.

Desde el punto de vista científico, la mejora consistente y reproducible en la transmisión y disipación del calor observada en el instituto fue validada después en el CSIC y en la Universidad Politécnica de Varsovia. Esto refuerza la fiabilidad del método y demuestra que una investigación de instituto puede producir resultados científicamente sólidos, publicables y con valor para la sociedad.

Desde el punto de vista terminológico, el trabajo propone por primera vez una nomenclatura morfológicamente fundamentada para los dos procesos centrales: grafenización y grafenación (graphenization y graphenation). Contribuye así a la estandarización del vocabulario técnico en español e inglés.

Por último, la transferencia a la Red FAB-IDi, con el acompañamiento de antiguos alumnos-investigadores, confirma la escalabilidad del modelo. Una investigación nacida en un aula puede llegar a certámenes nacionales e internacionales, a una beca del CSIC o a varias universidades europeas, y volver después al instituto para tutorizar nuevos proyectos.

Agradecimientos

A los IES Martín Rivero e IES Gran Capitán, a la Red FAB-IDi y su profesorado. Al CSIC, la Universidad de Perugia (Italia) la Universidad Politécnica de Varsovia (Polonia) y la Universidad Politécnica de Madrid (España) por el acceso a sus laboratorios y enseñanzas. A el Dr. Antonio Marcos Naz, Dr. Raúl Arenal, D.ª Zalewska-Traczyk Małgorzata, Dawid Myszka y D. Alejandro Vaquero.

Bibliografía

[1] J. Tejada Fernández, C. Ruiz Bueno, *Educación XX1* **2016**, *19*, 17-38, https://doi.org/10.5944/educxx1.12175.

[2] E. Fitzer, K. Köchling, H. P. Boehm, H. Marsh, *Pure Appl. Chem.* **1995**, *67*, 473-506, http://dx.doi.org/10.1351/pac199567030473.

[3] M. Sang, J. Shin, K. Kim, K. J. Yu, *Nanomaterials* **2019**, *9*, 374, https://doi.org/10.3390/nano9030374.

[4] K. R. Paton, E. Varrla, C. Backes, R. J. Smith, U. Khan, A. O'Neill, C. Boland, M. Lotya, O. M. Istrate, P. King, T. Higgins, S. Barwich, P. May, P. Puczkarski, I. Ahmed, M. Moebius, H. Pettersson, E. Long, J. Coelho, S. E. O'Brien, E. K. McGuire, B. Mendoza Sanchez, G. S. Duesberg, N. McEvoy, T. J. Pennycook, C. Downing, A. Crossley, V. Nicolosi, J. N. Coleman, *Nat. Mater.* **2014**, *13*, 624-630, https://doi.org/10.1038/nmat3944.

[5] A. M. Naz Lucena, "Aprendizaje Basado en la Investigación (ABI), IES Martín Rivero (Ronda)", disponible en https://www.youtube.com/watch?v=_-lYs5-lx-Q, **2022** (consultado: 23/10/2026).

[6] A. M. Naz Lucena, en *Experiencias innovadoras para el aprendizaje: construyendo el conocimiento del futuro. Libro de actas del IV Congreso Internacional Innovación Docente, Educación y Transferencia del Conocimiento (CIINECO)*, (Eds.: C. López Marcos, R. Pinilla Gómez), Egregius Ediciones, Sevilla, **2025**, pp. 736-737.

[7] A. M. Naz Lucena, M. M. Ariza Montes, C. Clavijo, en *Apostando por las vocaciones científicas desde la educación secundaria: oportunidades mediante investigaciones con el programa SCIENCE-IES (PIIISA)*, (Eds.: T. Lupión Cobos, F. J. Pérez Cáceres) UMA Editorial, Málaga, **2018**, pp.59-80.

[8] D. Guerrero Moreno, en *Actas del 33° Congreso de Jovenes CEULAJ, Mollina (Málaga) 30 nov., 1 y 2 dic. de 2021*, (Eds.: M. F. Martín Nieto, A. Ibarra Sierra), Instituto de la Juventud (INJUVE), Madrid, **2021**, pp. 366-379.

[9] D. Guerrero Moreno, A. M. Naz Lucena, en *Ciencia en Acción, Edición XXIV: Libro de Actas, Viladecans (Barcelona)*, **2023**, p. 93, disponible en: https://web.cienciaenaccion.org/sites/default/files/2025-03/Libro%20de%20Actas_CEA_2023.docx.pdf (consultado: 23/10/2026).

[10] D. Guerrero Moreno, Trabajo Fin de Grado, Università degli Studi di Perugia, **2025**.

[11] C. A. Gottfurcht, Tesis doctoral, Northwestern University, **2007**.

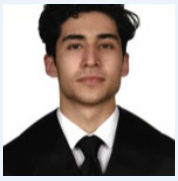
[12] L. Bauer, *English Word-Formation*, Cambridge University Press, Cambridge, **1983**.

[13] A. Mäsiarová, Tesis doctoral, Masaryk University, Faculty of Education, **2015**.

[14] Real Academia Española, "8.10 Verbos derivados en -izar, -ificar y sus variantes. Otros afijos verbales", *Nueva gramática de la lengua española*, **2019**, disponible en: https://www.rae.es/gramática/morfología/verbos-derivados (consultado: 20/10/2026).

[15] Real Academia Española, "8.7 (verbos derivados en -ar y sus variantes: formas parasintéticas" *Nueva gramática de la lengua española*, **2019,** disponible en: https://www.rae.es/gramática/morfología/verbos-derivados-en-ar-y-sus-variantes-ii-formas-parasintéticas-los-tipos-aaar-y-anar (consultado: 23/10/2026).

© 2026 Real Sociedad Española de Química



Daniel Guerrero Moreno
Red de Centros FAB-IDi PIN 187/22
C-e: guerreromorenod@gmail.com
ORCID: 0009-0007-1134-3366

Inició en el bachillerato la investigación sobre producción de grafeno de bajo coste, con la que obtuvo premios nacionales e internacionales (Congreso de Jóvenes Investigadores y certamen Ciencia en Acción) y una beca del CSIC. Continuó el proyecto en las universidades de Perugia y Varsovia. Actualmente tutoriza proyectos de investigación de alumnado de secundaria en la Red FAB-IDi.



Elena Moncayo Salinas
Red de Centros FAB-IDi PIN 187/22
C-e: moncayoelena@gmail.com
ORCID: 0009-0004-9374-9076

Inició en el bachillerato el interés por la investigación participando en la Feria de Ciencias de Sevilla. Posteriormente cursó la carrera de Estudios Ingleses en la Universidad de Granada, donde realizó su TFG en torno a la implantación de la IA en la enseñanza de la lengua inglesa en los institutos. Actualmente tutoriza proyectos de investigación de alumnado de secundaria en la Red FAB-IDi.



STVAL RSEQ Sección Territorial de Valencia

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació

15 de enero de 2027

© 2026 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2152