

Boro: de sus orígenes en el desierto a aplicaciones pioneras en energía, materiales y medicina

From its origins in the desert to pioneering applications

Clara Viñas i Teixidor*

Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)

PALABRAS CLAVE:

Carborano
Metalabis(dicarballuro)
COSAN
BNCT
Terapia de protones

RESUMEN:

Los avances en métodos sintéticos eficaces para la funcionalización de los clústeres de boro han sido cruciales para su aplicación práctica en diversos campos. Este artículo destaca los logros alcanzados en los campos de polímeros, catálisis, sensores y medicina en los que he participado junto a Francesc Teixidor a lo largo de mi carrera científica en el ICMAB-CSIC.

KEYWORDS:

Carborane
Metallabis(dicarbollide)
COSAN
BNCT
Proton Therapy

ABSTRACT:

Advances in synthetic methods for the effective functionalization of boron clusters have been crucial for their practical application in various fields. This article highlights the achievements in the areas of polymers, catalysis, sensors, and medicine in which I have participated with Francesc Teixidor throughout my scientific career at ICMAB-CSIC.

Introducción

Tras recibir el Premio a una Carrera Distinguida de la RSEQ 2024, fui invitada a escribir un artículo para Anales de Química de la RSEQ. Aproveché esta oportunidad para compartir mi pasión por la química del boro, abordando las características y reactividad del boro y sus clústeres y destacando mi investigación en el ICMAB-CSIC.

El elemento boro: características, compuestos y aplicaciones iniciales

El boro fue aislado en Penzance (Cornualles, Inglaterra) en 1808 por el químico inglés H. Davy,^[1] pero fue identificado como elemento por J.J. Berzelius en 1824.^[2] El boro, ubicado a la izquierda del carbono en la tabla periódica, se encuentra en su estado natural en forma de dos isótopos estables: el ¹⁰B con una abundancia natural del 20% y el ¹¹B con un 80%.

¿Pero de dónde proviene el Boro? Al Boro le gusta combinarse con el oxígeno y, por eso, se encuentra en la naturaleza en forma de óxidos, usualmente como boratos (BO_3^{3-}). El Boro se extrae de diferentes minerales como Kaliborita ($\text{HKMg}_2(\text{B}_{12}\text{O}_{16})(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Karlita, $\text{Mg}_7(\text{BO}_3)_3(\text{OH},\text{Cl})_5$, Kernita $\text{Na}_2[(\text{B}_4\text{O}_6)(\text{OH})_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, y Kurnakovita $\text{Mg}[(\text{B}_3\text{O}_3)(\text{OH})_3]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, entre otros pero todos contienen boratos en su composición.^[3,4] Turquía (yacimientos en Kirka, Emet, Bigadiç y Kestelek) tiene las mayores reservas de boro del mundo, seguida por Estados Unidos (desierto "Death

Valley" en California) y Rusia,^[5] pero Turquía continúa siendo el principal productor de boro.^[6] El bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) fue uno de los primeros minerales que se usaron como objeto de intercambio en la antigüedad porque se empleaba en las soldaduras de oro, como materiales para la momificación, en medicina y en la fabricación de vidrio. En el antiguo Egipto, los embalsamadores usaban sales para deshidratar los cuerpos en la momificación, notando que algunas eran más eficaces, aunque probablemente desconocían que contenían boratos. El ácido bórico (H_3BO_3) fue producido a partir de bórax por el químico holandés W. Homberg en 1702, pero se encuentra de forma natural en algunas zonas volcánicas como la Toscana, las islas Lipari y el estado de Nevada y ha sido ampliamente utilizado en medicina para administración tópica desde el siglo XVIII debido a su gran actividad bactericida y fungicida.^[7]

En el año 1909, W.J. Weintraub sintetizó boro elemental con una pureza del 100%; y en el 1912, A. Stock sintetizó el primer compuesto de boro e hidrógeno: "¡la química del boro había nacido!". Durante el período 1944-1954, una vez acabada la segunda guerra mundial, pero en plena guerra fría, tanto el gobierno americano como el ruso destinaron millones de dólares y de rublos en la investigación de nuevos combustibles; los proyectos militares "Project Hermes" y "Project Zip" tenían el objetivo de desarrollar nuevos combustibles basados en hidruros de boro para su uso como misiles de largo alcance y de

CÓMO CITAR: C. Viñas. An. Quím. RSEQ 2025, 121, 19-24, <http://doi.org/10.62534/rseq.aq.2008>

* C-e: clara@icmab.es

motores de combustión. ¿Por qué los hidruros de boro? Porque producen aproximadamente un 30% más de energía que los combustibles convencionales de hidrocarburo por unidad de masa. Su densidad energética puede superar los 60 MJ/kg, un 30% más que la gasolina (~46 MJ/kg), lo que los hace más eficientes por unidad de masa. La energía liberada por la combustión de los hidruros de boro depende de su composición y de la formación de B_2O_3 , un producto altamente estable. Por ejemplo, la combustión del diborano: $B_2H_6 + 3 O_2 \rightarrow B_2O_3 + 3 H_2O$. El resultado de estos programas sobre combustibles son el misil *Bomarc*, un misil tierra-aire desarrollado por EE.UU. a principios de la década de los 50, el bombardero de largo alcance *Valkyrie XB-70A* y la nave espacial *Blackstar*. En estos proyectos se constató que la combustión de los boranos formaba óxidos de boro sólidos que interferían en el esperado proceso termodinámico. Así pues, los boranos no resultaron ser los 'super combustibles' deseados y estos programas de investigación se detuvieron.

Características de los clústeres de boro icosaédricos

El carbono, que se encuentra a la derecha del boro en la tabla periódica, forma enlaces C-C covalentes (2c-2e) que encontramos en las estructuras de polímeros, moléculas de hemoglobina y clorofila, o bien en las estructuras 3D de los fullerenos. El boro también puede formar enlaces B-B que dan lugar a los boranos y los heteroboranos, siendo los carboranos que contienen B y C y los metalacarboranos con B, C y metal los más conocidos. Estos clústeres de boro están formados por estructuras poliédricas con caras triangulares que poseen aromaticidad 3D,^[8-10] en las que los enlaces que mantienen unido al clúster son enlaces tricéntricos con dos electrones (3c-2e). W. Lipscomb recibió el Premio Nobel de Química en 1976 por sus estudios sobre el enlace 3c-2e en las estructuras de boranos. El año 1979, H.C. Brown y G. Wittig compartieron el Premio Nobel de Química por sus trabajos con compuestos de boro que revolucionaron la química orgánica sintética.

Estas estructuras moleculares 3D de clústeres de boro poseen una extraordinaria estabilidad química, biológica, térmica y fotoquímica que les confiere aplicaciones únicas en (nano) materiales que no son posibles con otros elementos, incluido el carbono.^[11-15]

Los clústeres más conocidos son los icosaédricos (Figura 1): el *closo*-dodecaborato cuya fórmula es $[B_{12}H_{12}]^{2-}$, el *dicarba-closo*-dodecaborano de fórmula empírica $C_2B_{10}H_{12}$ y los metala-

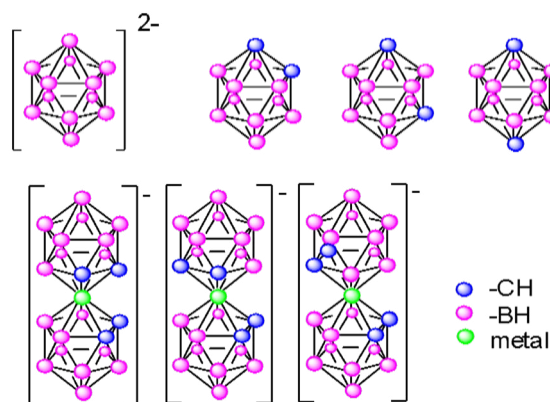


Figura 1. Representación de los clústeres de boro icosaédricos: dodecaborano $[B_{12}H_{12}]^{2-}$ (dianiónico), carborano $C_2B_{10}H_{12}$ (neutro) con sus tres isómeros en la parte superior, así como de los tres rotámeros del metalabis(dicarballuro) que para M^{+3} es monoaniónico.

bis(dicarballuros) tipo sándwich cuya fórmula es $[M(C_2B_9H_{11})_2]$ ($M = Co^{3+}, Fe^{3+}$). Según la posición de los dos vértices C-H, el *dicarba-closo*-dodecaborano existe en tres formas isoméricas 1,2- $C_2B_{10}H_{12}$, 1,7- $C_2B_{10}H_{12}$ y 1,12- $C_2B_{10}H_{12}$, *orto*-, *meta*- y *para*-carborano (Figura 1).^[16]

F. Teixidor y yo, involucrados en la investigación de nuevos (bio)materiales conteniendo clústeres de boro desde la apertura del ICMAB-CSIC, considerábamos que una de las principales limitaciones para la aplicación de estos compuestos en nuevos (bio)materiales era la falta de métodos sintéticos efectivos para su funcionalización. Sin estos procesos, la química del boro quedaba relegada a un segundo plano, a pesar de sus enormes posibilidades, muchas de las cuales complementarias a las de los compuestos de la química orgánica. Por esta razón, desde 1982, tanto nosotros como otros grupos de investigación centramos los esfuerzos en desarrollar métodos sintéticos para la funcionalización de los vértices de carbono, de boro y de carbono y boro en los clústeres icosaédricos de carborano y metalabis(dicarballuros).

Los carboranos neutros icosaédricos *closo* $C_2B_{10}H_{12}$ pueden incorporar un gran número de sustituyentes en sus 12 vértices (2 C-H y 10 B-H). La reactividad de los vértices B-H depende de la distancia de cada vértice con respecto a los vértices C. Además, la mayoría de las reacciones que ocurren en los vértices de boro no afectan a los vértices de carbono, y viceversa. En consecuencia, ambos clústeres icosaédricos ofrecen la posibilidad de funcionalizarse tanto en los vértices de C, como en los de B, y en ambos vértices de C y de B simultáneamente (Figura 2).^[16]

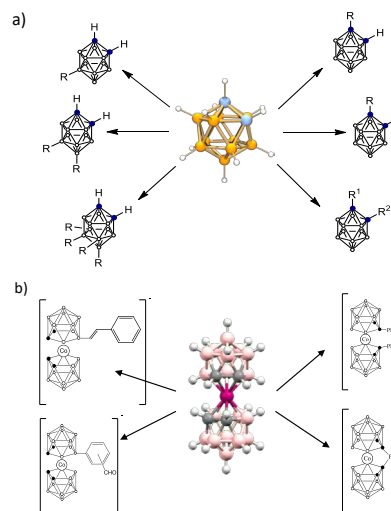


Figura 2. a) Representación esquemática de algunos *closo* *orto*-carboranos sustituidos en los vértices B (izquierda) y en los vértices C (derecha). b) Representación esquemática de algunos metalabis(dicarballuros) sustituidos en los vértices B (izquierda) y en los vértices C (derecha). Los círculos oscuros representan los átomos de C, mientras que los blancos representan los átomos de B.

Enfoque en la síntesis de derivados de carboranos icosaédricos y metalabis(dicarballuros) para su uso en (bio)materiales

Desde 1982, hemos optimizado protocolos de síntesis para aplicar los clústeres icosaédricos de boro en (bio)materiales. Nos enfocamos en la síntesis y caracterización de derivados de carboranos y metalacarboranos, explorando continuamente nuevas aplicaciones en la ciencia de materiales, algunas de las cuales se detallan a continuación.

- **Catálisis.** El primer paso para aplicar los clústeres en este campo fue la síntesis de los clústeres neutros (*closo*) y aniónicos

(nido) derivados del *o*-carborano con grupos monioéter, dioéter, monofosfina, difosfina, y tioéterfosfina enlazados a los carbonos del clúster.

El paso siguiente fue la reacción de coordinación con compuestos de Ru, Rh, Pd, Cu, Au, entre otros, para obtener los correspondientes complejos (Figura 3) con el propósito de su uso como catalizadores en reacciones de hidrogenación e isomerización de alquenos terminales e internos, ciclopropanación de olefinas, reacción de Kharasch y polimerización Ziegler-Natta.^[17] A resaltar que los complejos de Rh son los primeros ejemplos de catalizadores conocidos de ciclopropanación.^[18]

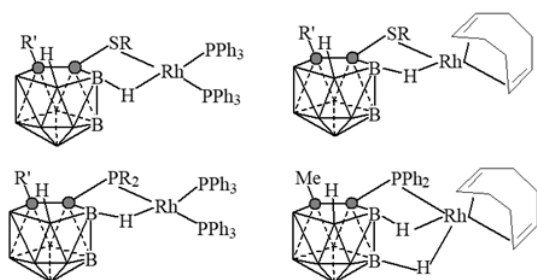


Figura 3. Representación esquemática de algunos complejos sintetizados que incorporan algunos clústeres de nido *o*-carborano. R = Et, *i*-Pr, Ph, R' = H, Me, Ph.

Cabe destacar los hallazgos innovadores llevados a cabo en los últimos cinco años sobre la actividad catalítica del cobaltabis(dicarballuro) y sus derivados halogenados como catalizadores fotoredox en la oxidación de alcoholes, hidrocarburos y otros compuestos en medio acuoso (Figura 4).^[19-21] Este proceso que ha sido patentado (EP23382576.9), convierte alcanos y alquenos en alcoholes con rendimientos del 90-99% usando agua, oxígeno, luz UVA y un catalizador de boro. El catalizador es recuperable y tiene aplicaciones en la conversión de metano a metanol, benceno a fenol, y grasa animal en derivados, con potencial en sectores energéticos, ambientales e industriales. Estos logros avanzan hacia la creación de una empresa tecnológica denominada SunOx.

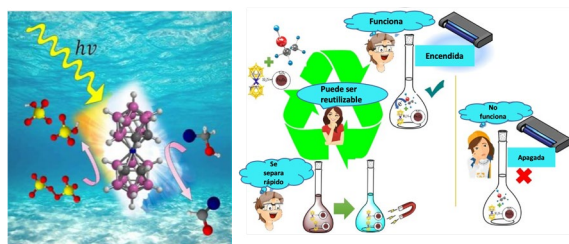


Figura 4. Izquierda: Representación esquemática del cobaltabis(dicarballuro) como catalizador fotoredox eficiente en la oxidación de alcoholes aromáticos y alifáticos en agua. Reproducido de la referencia^[19]. Derecha: El catalizador fotoredox homogéneo fue eficientemente heterogenizado sobre nanopartículas magnéticas recubiertas de sílice con grupos amino. Reproducido de la referencia^[20].

- Dopantes de polímeros orgánicos conductores (COPs): El Premio Nobel de Química del 2000 lo compartieron A.J. Heeger, A.G. MacDiarmid y H. Shirakawa por el descubrimiento y desarrollo de los COPs al demostrar cómo el plástico puede ser modificado para conducir corriente eléctrica lo que cambió radicalmente la percepción del plástico como material. Los COPs también se conocen como "metales sintéticos" porque una de

sus posibles aplicaciones es como sustitutos de los metales o de los semiconductores inorgánicos. Los COPs más populares reportados son el polipirrol (PPy), el politiofeno (PTH) y el poli(3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT). El aspecto más importante de los COPs es su capacidad para actuar como semiconductores electrónicos controlados mediante un cambio redox a un potencial específico, complementado por el movimiento de iones dopantes hacia el interior o exterior del material, dependiendo de la carga neta del polímero. Los estados conductores y aislantes de los COPs se pueden generar de manera electroquímica a partir de los monómeros correspondientes. Durante la electropolimerización, los aniones de la solución se introducen en la matriz polimérica para neutralizar las cargas positivas generadas en las cadenas de polímero oxidadas. Estos aniones, llamados agentes dopantes, desempeñan un papel significativo en las propiedades químicas y físicas, en la estabilidad y en la morfología del polímero.

La gran estabilidad química, las propiedades redox y el gran volumen molecular del anión cobaltabis(dicarballuro) y sus derivados nos hizo sospechar que tendrían poca movilidad dentro de la matriz polimérica de los COPs al ser utilizados como dopantes y aportarían nuevas propiedades a dichos materiales. Preparamos COPs de polipirrol (PPy)^[22] y politiofeno (PEDOT)^[23-24] (Figura 5) dopados con cobaltabis(dicarballuro) que provoca un notable aumento de la estabilidad de los materiales frente a la sobre oxidación cuando se les aplica potenciales fuertemente oxidantes.^[22] Además, el material presenta un comportamiento cuasi-Nerstiano como sensor potenciométrico de pH y márgenes de linealidad entre pH's 3 y 12 permitiendo todo tipo de valoraciones ácido-base con exactitudes y tiempos de análisis comparables a los electrodos de pH de vidrio convencionales.^[25]

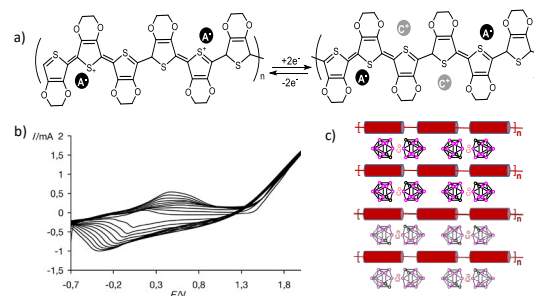


Figura 5. a) Reacción de oxidación/reducción del PEDOT(Anión) a través de extracción e inclusión de cationes. b) Crecimiento potenciodinámico del material PPy(Anión). c) Representación de los COPs dopados con cobaltabis(dicarballuro).

A raíz de los resultados alcanzados con estos materiales conductores, abrimos nuevas aplicaciones de los clústeres de boro icosaédricos como componentes clave en el campo de nuevos biomateriales para la salud con el desarrollo de sensores potenciométricos, microsensores y biosensores como se detalla a continuación.^[7]

- Sensores potenciométricos para la detección de fármacos: Hemos preparado sensores potenciométricos selectivos a antibióticos (isoniacida, pirazinamida y tetraciclina)^[26,27] y aminoácidos (*d*- and *l*-triptófano, *d*- and *l*-histidina y *d*- and *l*-arginina)^[28,29] que contienen el clúster cobaltabis(dicarballuro) como componente electroquímico fundamental (Figura 6). Estos sensores son capaces de detectar el compuesto para el cual han sido diseñados, incluso en soluciones que contienen múltiples componentes. Además, en el caso de los antibióticos, puede detectar el isómero óptico deseado en presencia de su complementario.

Estos electrodos permiten detectar antibióticos en alimentos como leche y carne, lo que es relevante para personas alér-



Figura 6. Preparación de los sensores potenciométricos en el IC-MAB-CSIC con el esquema de su funcionamiento.

gicas a éstos. Asimismo, se puede detectar la presencia de trimetilamina en pescado congelado permitiendo evaluar si este no era fresco en el momento de ser congelado, ya que su formación resulta de la degradación de compuestos presentes en el pescado fresco. Entre otras aplicaciones, detectan drogas como nicotina, cocaína, anfetaminas, heroína y LSD, o las setas alucinógenas en sangre y/o en orina.

- Microsensores: Hemos preparado micro-electrodos de un tamaño de $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m}$ para detectar cationes Na^+ , K^+ y H^+ . El control de estos cationes es muy importante en medicina tanto en las operaciones cardíacas como en el transporte de órganos para ser trasplantados (Figura 7a).^[30]

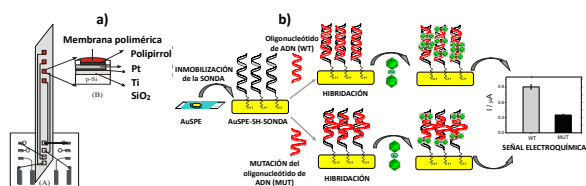


Figura 7. a) Microsensor y b) biosensor conteniendo clústeres de B.

- Biosensores: Hemos usado cobaltabis(dicarballuro) en un biosensor para detectar *Helicobacter pylori*, una bacteria causante de úlceras gástricas y cáncer (Figura 7b). El electrodo contiene ADN bacteriano que, al unirse con su complementario en la muestra del paciente, forma una cadena doble que detecta electroquímicamente mutaciones en el ADN y las distingue según su ubicación.^[31]

- Agentes de contraste de rayos X: También llevamos a cabo la preparación de cementos óseos que contienen $\text{I}_4\text{-o-carborano}$ como agente de contraste de rayos X para su uso en vertebroplastia (Figura 8). La vertebroplastia es un procedimiento ambulatorio realizado por un radiólogo para estabilizar fracturas de columna, comúnmente causadas por osteoporosis.

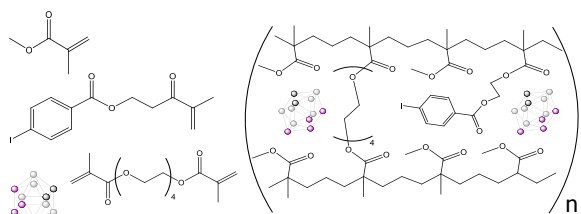


Figura 8. Reacción de copolimerización para obtener el cemento.

Se inyecta cemento óseo en la vértebra fracturada para aliviar el dolor, mejorar la movilidad y reforzar la estabilidad. Preparamos el cemento óseo polimerizando metacrilato de metilo y su derivado yodado, junto con un agente reticulante y el clúster de boro tetraiodado, para incorporarlo al polímero de metilmetacrilato.^[32]

Los clústeres icosaédricos carboranos y metalabis(dicarballuros) en medicina

La química orgánica ha sido clave en el desarrollo de medicamentos, con la mayoría de los fármacos siendo moléculas orgánicas que también incluyen elementos como nitrógeno, oxígeno, fósforo y halógenos. A mediados del siglo XX, se inició la investigación de compuestos de boro para tratar el cáncer mediante la Terapia por Captación de Neutrones (BNCT) del isótopo ^{10}B . Tras la captura, el ^{10}B se convierte en $^{11}\text{B}^*$ excitado que decae liberando una partícula α (^4He) y ^7Li . Los efectos ionizantes destruyen células en un radio de 5-9 mm alrededor del punto en que tiene lugar la reacción como se indica en la Figura 9. La eficiencia del BNCT requiere que el tejido canceroso reciba más de $20\ \mu\text{g}$ de ^{10}B por gramo de tumor.

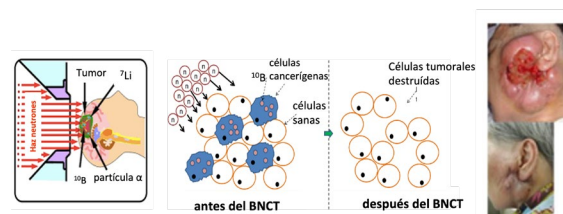


Figura 9. Esquema de cómo se realiza el tratamiento de BNCT, su efecto y fotografías de un paciente antes y después del tratamiento.

Los clústeres icosaédricos de boro con aromaticidad tridimensional pueden albergar 12 sustituyentes en sus vértices, cubriendo el espacio 3D. Estos clústeres los hemos funcionalizado para actuar como andamios multifuncionales (Figura 10a),^[33,34] para unirlos a inhibidores de receptores de quinasas (EGF: erlotinib,^[35] sunitinib,^[36] lapatinib;^[37] (Figura 10b) o anclarlos a nanopartículas de oro y magnéticas (Figura 10c).^[38,39] Debido a su alta densidad de boro, los hemos probado para su uso como nanotransportadores multifuncionales en tratamientos contra el cáncer, permitiendo terapias combinadas o multiterapias.

Descubrimos que el cobaltabis(dicarballuro) es citoestático,^[40] no citotóxico, forma vesículas monocapa,^[41] cruza las membranas celulares,^[42,43,44] y llega al núcleo,^[45] interactuando electrostáticamente con el ADN.^[31,45] El ferrabis(dicarballuro) penetra en el núcleo y se intercala en el ADN.^[46]

Estos resultados son muy importantes porque los fármacos antineoplásicos son los que intercalan con el ADN; pero además, estudios de Montecarlo indican que la efectividad del BNCT es muy superior si el ^{10}B se localiza en el núcleo de la célula. Nuestros resultados nos llevaron a irradiar por BNCT *in vitro* y *in vivo* glioblastomas (GBM),^[37,47] cáncer de mama^[48] y cáncer de cabeza y cuello,^[49] estudios que han sido muy prometedores.

Además, aprovechando el alto contenido isotópico de ^{11}B en los metalabis(dicarballuros), hemos probado por primera vez estos compuestos en la terapia de cáncer con protones (PBFR) en la que se producen 3 partículas α (Figura 11).^[45]

Los resultados de nuestros estudios *in vitro*, *in vivo* y de irradiación destacan de manera convincente que estos pequeños aniones son prometedores candidatos como futuros radio-sensibilizadores en el tratamiento del GBM mediante radioterapias

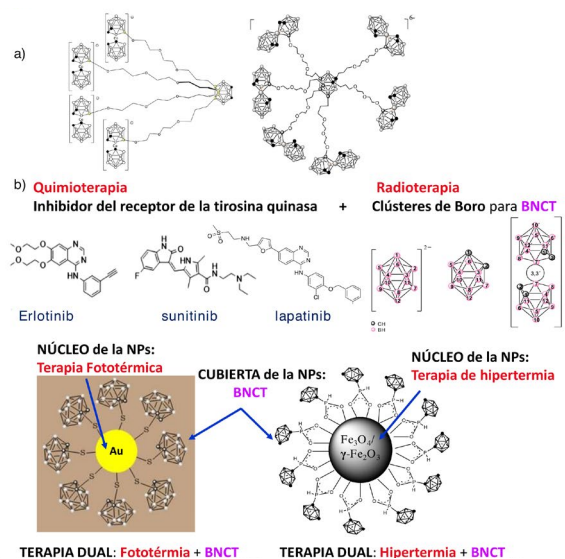


Figura 10. a) Clúster de *o*-carborano como núcleo de dendrones y dendrímeros. b) Moléculas híbridas (EGF + clústeres). c) NPs de oro y magnéticas funcionalizadas con *o*-carboranos.

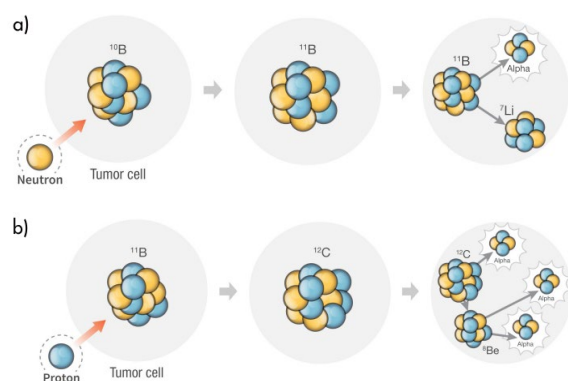


Figura 11. Reacciones nucleares: a) Boron Neutron Capture Therapy (BNCT); b) Proton Boron Fusion Reaction (PBFR).

multimodales. Su uso en radioterapias multimodales podría lograr el mismo efecto terapéutico con dosis más bajas, reduciendo los efectos secundarios del tratamiento oncológico y mejorando significativamente la calidad de vida del paciente.

Conclusiones

Este artículo destaca las propiedades únicas del boro, especialmente en forma de clústeres, que aportan características excepcionales a los (bio) materiales. Se subraya su impacto en polímeros, catálisis, sensores y medicina, áreas en las que he contribuido a lo largo de mi carrera en el ICMAB-CSIC junto a Francesc Teixidor. Estos avances demuestran cómo el boro sigue ampliando las fronteras en ciencia de materiales; los doctores Rosario Núñez, José Giner y Marisa Romero continúan con investigaciones innovadoras en fotoluminiscencia, MOFs y catálisis, respectivamente.

Bibliografía

- [1] H. Davy, *Philos. Trans. Royal Soc.* **1809**, 99, 39–104.
- [2] J. Berzelius, *Proc. R. Soc.* **1824**, 12, 46–98.
- [3] D.E. Garrett, *Borates: handbook of deposits, processing, properties, and use*. Academic Press, San Diego (U.S.A.), **1998**.
- [4] D.Z. Hobbs, T.T. Campbell, F.E. Block, *Methods Used in Preparing*

- Boron*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, **1964**.
- [5] M. Garside "Reserves of boron worldwide in 2023, by leading countries," disponible en <https://www.statista.com/statistics/264982/world-boron-reserves-by-major-countries/> (consultado: 24/02/2025).
- [6] M. Jaganmohan "Production volume of boron worldwide 2023, by leading country" disponible en <https://www.statista.com/statistics/264981/major-countries-in-boron-production/#statisticContainer> (consultado el 24/02/2025).
- [7] C. Viñas, *Future Med. Chem.* **2013**, 5, 617-619, <https://doi.org/10.4155/fmc.13.41>.
- [8] J. Poater, M. Sola, C. Viñas, F. Teixidor, *Chem. Eur. J.* **2016**, 22, 7437-7443, <https://doi.org/10.1002/chem.201600510>.
- [9] J. Poater, M. Sola, C. Viñas, F. Teixidor, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 12191-12195, <https://doi.org/10.1002/anie.201407359>.
- [10] J. Poater, C. Viñas, I. Bennour, S. Escayola-Gordils, M. Solà, F. Teixidor, *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142, 9396-9407, <https://doi.org/10.1021/jacs.0c02228>.
- [11] S. Mukherjee, P.J. Thilagar, *Mat. Chem. C* **2016**, 4, 2647-2662, <https://doi.org/10.1039/C5TC02406D>.
- [12] S.I. Lu, I. Hamerton, *Prog. Polym. Sci.* **2002**, 27, 1661-1712, [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00018-7).
- [13] R. Nuñez, I. Romero, F. Teixidor, C. Viñas, *Chem. Soc. Rev.* **2016**, 45, 5147-5173, <https://doi.org/10.1039/C6CS00159A>.
- [14] Y. Chujo, K. Tanaka, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2015**, 88, 633-643, <https://doi.org/10.1246/bcsj.20150081>.
- [15] R. Brand, P. Lunkenheimer, A. Loidl, *J. Chem. Phys.* **2002**, 116, 10386-10401, <https://doi.org/10.1063/1.1477186>.
- [16] R.N. Grimes, *Carboranes*, Elsevier Inc., New York, 3rd Ed., **2016**.
- [17] F. Teixidor, C. Viñas, J. Giner Planas, I. Romero, R. Núñez en *Advances in Catalysis*, Vol. 71 (Eds.: M. Diéguez, R. Núñez), Academic Press, Cambridge, USA, **2022**, 1-45.
- [18] O. Tutusaus, C. Viñas, R. Núñez, F. Teixidor, A. Demonceau, S. Delfosse, A.F. Noels, I. Mata, E. Molins, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, 125, 11830-11831, <https://doi.org/10.1021/ja992970w>.
- [19] I. Guerrero, Z. Kelemen, C. Viñas, I. Romero, F. Teixidor, *Chem. Eur. J.* **2020**, 26, 5027-5036, <https://doi.org/10.1002/chem.201905395>.
- [20] I. Guerrero, A. Saha, J.A.M. Xavier, C. Viñas, I. Romero, F. Teixidor, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2020**, 12, 56372-56384, <https://doi.org/10.1021/acsami.0c17847>.
- [21] I. Guerrero, C. Viñas, I. Romero, F. Teixidor, *Green Chem.* **2021**, 23, 10123-10131, <https://doi.org/10.1039/d1gc03119h>.
- [22] C. Masalles, J. Llop, C. Viñas, F. Teixidor, *Adv. Mater.* **2002**, 14, 826-829, [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020605\)14:11%3C826::AID-ADMA826%3E3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020605)14:11%3C826::AID-ADMA826%3E3.0.CO;2-C).
- [23] V. David, C. Viñas, F. Teixidor, *Polymer* **2006**, 47, 4694-4702, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.04.017>.
- [24] J.A.M. Xavier, I. Fuentes, M. Nuez-Martínez, Z. Kelemen, A. Andrio, C. Viñas, V. Compañ, F. Teixidor, *J. Mater. Chem. A* **2022**, 10, 16182-16192, <https://doi.org/10.1039/d2ta02079c>.
- [25] C. Masalles, S. Borrós, C. Viñas, F. Teixidor, *Anal. Bioanal. Chem.* **2002**, 372, 513-518, <https://doi.org/10.1007/s00216-001-1221-7>.
- [26] A. Stoica, C. Viñas, F. Teixidor, *Chem. Commun.* **2008**, 6492–6494, <https://doi.org/10.1039/b813285b>.
- [27] H.B. Halima, A. Baraket, C. Viñas, N. Zine, J. Bausells, N. Jafrezic-Renault, F. Teixidor, A. Errachid, *Biosensors* **2023**, 13, 71, <https://doi.org/10.3390/bios13010071>.
- [28] A. Stoica, C. Viñas, F. Teixidor, *Chem Commun.* **2009**, 4988-4990, <https://doi.org/10.1039/b910645f>.

- [29] A. Stoica, C. Kleber, C. Viñas, F. Teixidor, *Electrochim. Acta* **2013**, *113*, 94-98, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.09.025>.
- [30] N. Zine, J. Bausells, F. Vocanson, R. Lamartine, Z. Asfari, F. Teixidor, E. Crespo, I.A. Marques de Oliveira, J. Samitier, A. Errachid, *Electrochim. Acta*, **2006**, *51*, 5075-5079, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2006.03.060>.
- [31] T. García-Mendiola, V. Bayon-Pizarro, A. Zulet, Isabel Fuentes, F. Pariente, F. Teixidor, C. Viñas, E. Lorenzo, *Chem. Sci.* **2016**, *7*, 5786-5797, <https://doi.org/10.1039/c6sc01567k>.
- [32] A. Pepiol, F. Teixidor, K. Saralidze, C. van der Marel, P. Willems, L. Voss, M.L.W. Knetsch, C. Viñas, L.H. Koole, *Biomaterials* **2011**, *32*, 6389-6398, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.05.056>.
- [33] F. Teixidor, R. Sillanpää, A. Pepiol, M. Lupu, C. Viñas, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 12778-12786, <https://doi.org/10.1002/chem.201501223>.
- [34] F. Teixidor, A. Pepiol, C. Viñas, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 10650-10653, <https://doi.org/10.1002/chem.201501181>.
- [35] M. Couto, M.F. García, C. Alamon, M. Cabrera, P. Cabral, A. Merlino, F. Teixidor, H. Cerecetto, C. Viñas, *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 3122-3126, <https://doi.org/10.1002/chem.201705181>.
- [36] M. Couto, C. Alamon, S. Nieves, M. Perona, M.A. Dagrosa, F. Teixidor, P. Cabral, C. Viñas, H. Cerecetto, *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 14335-14340, <https://doi.org/10.1002/chem.202002963>.
- [37] M. Couto, C. Alamon, M.F. García, M. Kovacs, E. Trias, S. Nieves, E. Pozzi, P. Curotto, S. Thorp, M.A. Dagrosa, F. Teixidor, C. Viñas, H. Cerecetto, *et al. Cells* **2020**, *9*, <https://doi.org/10.3390/cells9061408>.
- [38] A.M. Cioran, A.D. Musteti, F. Teixidor, M. Brust, C. Viñas, *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 212-222, <https://doi.org/10.1021/ja203367h>.
- [39] E. Oleshkevich, F. Teixidor, A. Rusell, C. Viñas, *Inorg. Chem.* **2018**, *57*, 462-470, <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b02691>.
- [40] M. Tarres, E. Canetta, E. Paul, J. Forbes, K. Azzouni, C. Viñas, F. Teixidor, A.J. Harwood, *Sci. Rep.* **2015**, *5*: 7804, <https://doi.org/10.1038/srep07804>.
- [41] P. Bauduin, S. Prevost, P. Farràs, F. Teixidor, O. Diat, T. Zemb, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 5298-5300, <https://doi.org/10.1002/anie.201100410>.
- [42] C. Verdiá-Báguena, A. Alcaraz, V.M. Aguilera, A.M. Cioran, S. Tachikawa, H. Nakamura, F. Teixidor, C. Viñas, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 6700-6703, <https://doi.org/10.1039/c4cc01283f>.
- [43] D.C. Malaspina, F. Teixidor, C. Viñas, J. Faraudo, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2023**, *25*, 27942-27948, <https://doi.org/10.1039/d3cp03614f>.
- [44] I. Fuentes, T. García-Mendiola, S. Sato, M. Pita, H. Nakamura, E. Lorenzo, F. Teixidor, F. Marques, C. Viñas, *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 17239-17254, <https://doi.org/10.1002/chem.201803178>.
- [45] M. Nuez-Martinez, M. Queralt-Martín, A. Muñoz-Juan, V.M. Aguilera, A. Laromaine, F. Teixidor, C. Viñas, C.G. Pinto, T. Pinheiro, J.F. Guerreiro, F. Mendes, C. Roma-Rodrigues, P.V. Baptista, A.R. Fernandes, S. Valic, F. Marques, *J. Mater. Chem. B* **2022**, *10*, 9727-9934, <https://doi.org/10.1039/d2tb01818g>.
- [46] L. Gutierrez-Galvez, T. García-Mendiola, E. Lorenzo, M. Nuez-Martinez, C. Ocal, S. Yan, F. Teixidor, T. Pinheiro, F. Marques, C. Viñas, *J. Mater. Chem. B* **2024**, *12*, 9550-9565, <https://doi.org/10.1039/d4tb01177e>.
- [47] A. Belchior, B. C. Alves, E. Mendes, F. Megre, L. C. Alves, P. Santos, K. Nishimura, H. Nakamura, F. Teixidor, C. Viñas, J. M. Sampaio, F. Marques, T. Pinheiro. *EJNMMI RESEARCH* **2025**, *15*, 13, <https://doi.org/10.1186/s13550-025-01199-6>.
- [48] C. Alamon, B. Dávila, M.F. García, S. Nieves, M.A. Dagrosa, S. Thorp, M. Kovacs, E. Trias, R. Faccio, M. Gabay, N. Zeineh, A. Weizman, F. Teixidor, C. Viñas, M. Gavish, H. Cerecetto, M. Couto, *Mol. Pharmaceutics* **2023**, *23*, 2702-2713, <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.3c00152>.
- [49] M.A. Palmieri, A. Monti Hughes, V.A. Trivillin, M.A. Garabalino, P.S. Ramos, S.I. Thorp, P. Curotto, E.C.C. Pozzi, M. Nuez Martínez, F. Teixidor, C. Viñas, A.E. Schwint, S.I. Th, *Pharmaceuticals* **2024**, *17*, 1367, <https://doi.org/10.3390/ph17101367>.



Clara Viñas i Teixidor

*Institut de Ciència de Materials de Barcelona
(ICMAB-CSIC)*

Ce: clara@icmab.es

ORCID: 0000-0001-5000-0277

Doctora en Farmacia y licenciada en Química y Farmacia, ha sido directora del Laboratorio Municipal de Sabadell y actualmente trabaja en el ICMAB-CSIC. Académica de la Academia Europaea, ha destacado en Química Organometálica y del boro. Ha liderado proyectos nacionales e internacionales, con 7 patentes, 403 artículos (índice h=60), 20 capítulos de libros y 16 tesis doctorales supervisadas. Recibió el premio a la excelencia científica de la SCQ-2022 y contribuyó a la nomenclatura de clústeres de boro para la IUPAC. Figura en el top 2% de los químicos más citados en el ranking de Stanford-Elsevier (carrera y período 2020-2024).