

Producción de carbón vegetal y de diamantes en Extremadura (España)

Wood charcoal and diamonds production in Extremadura (Spain)

José Pastor Villegas¹, Jesús F. Pastor Valle^{2,*}

¹ Universidad de Extremadura, Catedrático de Escuelas Universitarias, área de Química Inorgánica, jubilado.

² Ingeniero Industrial.

PALABRAS CLAVE:

Madera de encina
Carbón vegetal
Metalurgia
Diamantes sintéticos
Deposición química de vapor

RESUMEN:

El carbón vegetal artesanal, primer material de carbono sintético, ha contribuido significativamente al progreso desde la Prehistoria. En esa época comenzó su uso como combustible y reductor metalúrgico; hoy es combustible habitual para barbacoas y parrillas en muchos países. A finales del siglo XVIII, florecida la Química, se reconocieron que el diamante y el grafito eran alótropos del carbono, pero hasta 1955 no se anunció la primera síntesis de diamantes. En Extremadura (España), se produce hoy carbón con tendencia industrial, principalmente a partir de madera de encina. Además, se construye en Trujillo la primera fábrica europea de diamantes de grado semiconductor por CVD asistida por plasma. Ambos materiales tienen origen solar remoto.

KEYWORDS:

Holm oak wood
Wood charcoal
Metallurgy
Synthetic diamonds
Chemical vapor deposition

ABSTRACT:

Artisanal charcoal, the first synthetic carbon material, has contributed significantly to progress since Prehistory. At that time its use as fuel and metallurgical reducer began; today it is common fuel for barbecues and grills in many countries. At the end of the 18th century when Chemistry flourished, it was recognized that diamond and graphite were allotropes of carbon, but the first synthesis of diamonds was not announced until 1955. In Extremadura (Spain), charcoal is produced today for industrial purposes, mainly from holm oak wood. In addition, the first European factory for semiconductor grade diamonds using plasma-assisted CVD is being built in Trujillo. Both materials have a remote solar origin.

Introducción

En la Prehistoria (Paleolítico), los primeros materiales del ser humano eran universales (piedras, maderas, huesos y pieles), de fácil tratamiento (afilar, cincelar, cortar y desmenuzar).^[1] En África oriental, se usaron materiales de piedra hace cuatro millones de años.^[2] Hace más de 10 000 años, todas las sociedades los usaban.^[3] Hoy los materiales son numerosos, entre ellos los de carbono.

El elemento carbono (C) es el más próximo al ser humano;^[4] "el primer elemento químico [carbón vegetal y negro de humo] conocido y utilizado".^[5] Hoy es conocido que los materiales de C tienen estructuras más o menos ordenadas que determinan sus propiedades y aplicaciones.

El profesor Stach Mrozowski organizó la Primera conferencia sobre el Carbón, en la Universidad de Buffalo, noviembre de 1953. La revista *Carbon* se inició once años después, con él como primer editor-jefe, y surgieron la American Carbon Society de Estados Unidos de América en 1957 y otras sociedades científicas y tecnológicas.^[6] El Grupo Español del Carbón (GEC) nació en Zaragoza el 9 de octubre de 1990.

Sintiendo la necesidad de mejorar la producción del carbón vegetal en Extremadura (España) y sus potencialidades, hemos investigado. Parte de nuestras investigaciones han sido aportadas al Grupo de Adsorción de la RSEQ y al GEC.

Aquí tratamos del carbón vegetal (Cv), producido y usado desde la conquista y socialización del fuego, hito prehistórico. Los incendios forestales anteriores al ser humano produjeron Cv fósil,^[9] del que no tratamos. Tratamos también de los diamantes sintéticos, materiales de carbono muy actuales, que se comienzan a fabricar en Trujillo (Cáceres).

Carbonización de la biomasa lignocelulósica

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, en inglés) define la carbonización. El sólido resultante de este proceso térmico se llama carbonizado;^[7,8] el Cv es el carbonizado de la biomasa lignocelulósica (madera, huesos de fruta, etc.) y el coque resulta de la hulla bituminosa.

La carbonización de la biomasa lignocelulósica ha sido un arte durante mucho tiempo; es un proceso complejo que da tres productos, dos fluidos y uno sólido que no ha pasado por

ningún estado fluido: Biomasa lignocelulósica → Productos in-condensables(g) + Piroleñoso total(l) + Cv(s).

Gaius Plinius Secundus, el Viejo, naturalista romano del siglo I, ya aporta usos de estas fracciones; el carbón de encina, producido en fosa, en fraguas; la fase acuosa del piroleñoso total para embalsamar cadáveres humanos en Egipto y otros usos conservantes, y la fase alquitrán en el calafateo de navíos y otros usos de impregnación.^[10]

Estas fracciones se pueden observar y medir en el laboratorio.^[11] Si se carboniza madera de jara (*Cistus ladaniferus*, L.), el olor recordará a las tahonas.

Un hecho que demuestra la antigüedad del Cv tiene relación con la francesa Cueva Chauvet. En su suelo se encontró abundante carbón y en una pared magníficos dibujos al carboncillo de hace más de 38000 años. Sin embargo, hasta 1852-1932 no comenzó a comprenderse la ciencia subyacente al arte productivo durante los 38 milenios anteriores.^[12]

El material de partida, condiciones del proceso (atmósfera, velocidad de calentamiento, temperatura final y tiempo de calentamiento a la temperatura final) y catálisis afectan profundamente a la secuencia y cinética de las reacciones y últimamente al rendimiento de los productos.^[13]

El Cv se produce principalmente a partir de madera (composición elemental aproximada en base seca: 50% C, 6% H y 44% O).^[14] Por encima de 100 °C ya se degrada; las hemice-lulosas a 200-260 °C; la celulosa a 240-350 °C; y la lignina a 280-500 °C.^[15] El comportamiento térmico depende de su naturaleza, humedad y condiciones experimentales.^[16]

La madera carboniza a temperatura relativamente baja, lo que explica que el Cv sea universal y prehistórico. Posiblemente, la motivación de su producción prehistórica fue la observación de que en las cenizas del fuego de diferentes leñas quedaba un residuo negro que tiznaba, y que ardía después sin llama y daba más calor que la madera.^[17]

Con el paso del tiempo, la composición y las estructuras (química y porosa) del Cv se han conocido mejor.^[18]

En todo el mundo, la producción de Cv persiste, con uso principal doméstico (cocina y calefacción) en los países en desarrollo, y con uso industrial en otros; Brasil fue el primer productor en 2020, con más de 6·10⁹ kg.^[19]

En Extremadura, se ha carbonizado desde tiempo muy remoto. En el yacimiento arqueológico de Los Barruecos (Malpartida de Cáceres, Cáceres, España) se encontró Cv producido en una fosa en el tránsito del VI al V milenio a. C.^[20]

Referente al Cv fabricado para uso doméstico, revisamos los sistemas productivos, que clasificamos en artesanales (discontinuos) e industriales (continuos). En los primeros (fosas, carboneras, hornos de albañilería y hornos metálicos) el calor lo aporta la combustión parcial de la materia prima. En los segundos es por calefacción externa o por contacto con los gases calientes del proceso. El carbono fijo del carbón de horno continuo (~90%) supera en un 20% al de carbonera y en menor porcentaje al de hornos discontinuos.^[18,21]

Hoy, la biomasa forestal abunda en Extremadura (68% de la superficie total) y su carbonización está incentivada desde 2018.^[22] En nuestra opinión, la producción de Cv tiende a un mejor rendimiento, bajas emisiones y mejor calidad para uso como combustible doméstico regional, nacional e internacional en barbacoas y parrillas. Y puede tener otros usos.

La Figura 1 muestra un horno de ladrillos-metálico (3 × 3 × 3 m). En sus paredes internas hay carbón secundario producido a partir del alquitrán. Tal carbón se deposita también en la estructura porosa del Cv, hecho no deseable, sobre todo con miras a una potencial producción de adsorbentes.^[23]



Figura 1. Vistas exterior e interior de un horno artesanal en una dehesa de La Aldea del Obispo (Cáceres), con carbón de encina.

El carbón vegetal en la metalurgia de los primeros metales y en el florecimiento de la Química

El primer uso del Cv (combustible y reductor) fue en la metalurgia,^[7,8] arte milenario. Hoy, la composición y estructuras químicas y porosa del Cv justifican su uso metalúrgico.^[18,23]

Los no metales C (Cv y negro de humo) y S, y los metales Fe, Cu, Ag, Sn, Au, Hg y Pb se conocieron siglos a. C.^[24] El estado natural de estos metales se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Estado natural de los primeros metales.

Metal	Estado natural
Fe	Óxidos y carbonatos: hematita, Fe ₂ O ₃ ; magnetita, Fe ₃ O ₄ ; limonita, FeO(OH); siderita, FeCO ₃ .
Cu	Nativo. Óxidos y carbonatos: cuprita, Cu ₂ O; tenorita, CuO; malaquita, CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ ; azurita, 2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ . Sulfuros: calcopirita, CuFeS ₂ ; bornita, Cu ₅ FeS ₄ ; calcosina, Cu ₂ S; covelina, CuS; enargita, Cu ₃ AsS ₄ . Sulfatos: calcantita, CuSO ₄ ·5H ₂ O. Halogenuros: atacamita, Cu ₂ Cl(OH) ₃ . Silicatos: crisocola, (Cu,Al) ₄ H ₄ (OH) ₈ Si ₄ O ₁₀ ·nH ₂ O.
Ag	Nativa, mezclada con Au. Sulfuros: argentita, Ag ₂ S, con otros (Cu, Zn, Sb, Pb). Haluros: clorargirita, AgCl; otros (AgBr y AgI).
Sn	Óxidos: casiterita (depósitos de aluvión y vetas estanníferas), SnO ₂ .
Au	Nativo en arenas y filones auríferos. Telururos: silvanita, (AgAu)Te ₂ ; calaverita, AuTe ₂ .
Hg	Nativo a veces en rocas. Sulfuros: cinabrio, HgS.
Pb	Sulfuros y sulfatos: galena, PbS, con otros sulfuros (Cu, As, Ag, Sn, Bi); anglesita, PbSO ₄ . Carbonatos: cerusita, PbCO ₃ .

Fuente: Elaboración propia, vistas las Refs. [5], [24], [25].

Consultada una amplia bibliografía,^[1,5,10,24-30] intentamos responder primero dónde, cuándo, con quiénes, para qué y cómo evolucionó el arte metalúrgico en el Viejo Mundo.

Tal vez el inicio del arte metalúrgico fue en la región montañosa desde Anatolia a Afganistán, a través de Armenia, en el Neolítico. Se expandió al oeste; los primeros objetos de la Europa convencional son de cerca del 2000 a. C. Según las propiedades de los metales, se hicieron joyas, útiles y armas. Están establecidas tres etapas cronológicas.

1. Primera etapa: metales nativos

Los metales nativos y el hierro meteórico (aleación de Fe y Ni) se conocieron pronto, tenidos por separación física. No se conocen objetos de Au anteriores al quinto milenio a. C.

2. Segunda etapa: producción de metales no férreos

La cronología de los procesos generales de producción fue:

- Conformado y recocido del Cu nativo (5000-4000 a. C.).
- Reducción de menas oxidadas (4000-3000 a. C.).
- Tostación de menas sulfuradas (3000-2000 a. C.).
- Copelación, carburación y temple (2000-1000 a. C.).
- Licuefacción y amalgamación (1000 a. C.- 0).

Así pues, estos procesos se descubrieron en la Prehistoria (Neolítico) y primeros tiempos históricos (Edad Antigua).

Iniciado el siglo XX, se aceptó una Edad del Cobre o Calcolítico, de transición (evolución sin ruptura) de la Edad de Piedra (Neolítico) a la Edad de Bronce; fue breve (500-2000 años), con cinco fases probables de producción:

- Conformado de Cu nativo sin calor.
- Recocido de Cu al fuego, accidental o intencionado.
- Fusión de menas de óxidos y carbonatos de Cu.
- Fusión y afino del Cu producido.
- Producción de Cu por fusión de menas sulfuradas.

Los primeros productos reducidos eran esponjosos, con escorias y cenizas. El Cu líquido total se lograba en crisoles, con el subsiguiente moldeo. Los cambios coloreados debieron impactar, por ejemplo, de la malaquita: $\text{CuCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CuO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ y $2\text{CuO}(\text{s}) + \text{C}(\text{Cv}) \rightarrow 2\text{Cu}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$.

Más difícil fue producir Cu a partir de sus menas sulfuradas; la tostación volatilizaba impurezas (As, Sb y mucho S) como óxidos; la fusión de la mena tostada daba la mata (sulfuros de Fe y Cu); por fusión oxidante el Fe escorificaba; y la fusión reductora con Cv daba Cu impuro, purificable por oxidación.

La Edad del Bronce (aleación de Cu y Sn) se inició en Egipto y Asia Occidental hacia el 3500 a. C., y en el sureste de Europa hacia el 2000 a. C. Antes de la fusión de Cu y Sn, fue probable la de Cu crudo con casiterita y Cv. El Sn fue clave para lograr el producto (armas, estatuas, etc.) y salir de la Edad de Piedra. Su reducción se remonta al 3000 a. C.: $\text{SnO}_2(\text{s}) + 2\text{C}(\text{Cv}) \rightarrow \text{Sn}(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g})$. Con la mena hubo comercio de las islas británicas y Galicia a Oriente Medio.

El Pb y la Ag se produjeron hacia el 3000 a. C. en Asia Menor. La galena (conteniendo Ag), mezclada con Cv o en capas alternas, se tostaba parcialmente: $2\text{PbS}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{PbO}(\text{s}) + 2\text{SO}_2(\text{g})$, $\text{PbS}(\text{s}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s})$. Con más Cv, el óxido (litargirio) se reducía por el C, y el sulfuro residual reducía también dando Pb(l): $2\text{PbO}(\text{s}) + \text{PbS}(\text{s}) \rightarrow 3\text{Pb}(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g})$, $\text{PbSO}_4(\text{s}) + \text{PbS}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Pb}(\text{l}) + 2\text{SO}_2(\text{g})$. Si el producto se fundía y oxidaba con aire, se volatilizaba PbO, dejando la Ag como residuo. La copelación se aplicó pronto en la metalurgia de la Ag y para separar Au y Ag.

Por tostación del cinabrio resultó mercurio líquido: $\text{HgS}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Hg}(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g})$. En Almadén (España), se produjo pronto; los romanos amalgamaron Au, pero no Ag.

3. Tercera etapa: Edad del Hierro

En Mesopotamia, se conoció el Fe meteórico. Sin embargo, la Edad del Hierro se inició del 1200 al 550 a. C. Con ella comenzó la revolución más importante de la Humanidad, primero en Anatolia y Siria en el 1200 a. C., y en el 800 a. C.

extendida a Asia, Persia, India, Egipto, Creta, Grecia, Italia y Europa. En el 1000 a. C. se inició en la Península Ibérica.

La siderurgia fue más compleja; requirió más calor y un fundente adecuado para fijar las impurezas de la mena (ganga). En los hornos primitivos se alternaban capas de mineral con otras de Cv, insuflándose aire mediante tiro natural o fuelles accionados con las manos o los pies. Las ferrerías, de origen medieval, funcionaron en Occidente hasta finales del siglo XIX. Y con los altos hornos se llegó al Fe fundido (1538 °C), llamado arrabio o hierro colado: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{l}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$. A finales del siglo XVIII, se supo que C del Cv podía pasar al producto: Fe dulce (no contiene C), aceros (0,25-1,25% C) y fundición (2,5-3,25% C). Los procesos carburación, temple y revenido fueron claves, en particular para lograr el acero, la aleación más universal aún vigente.

Pruebas satisfactorias realizadas por Abraham Darby en Coalbrookdale (Inglaterra) en 1709 iniciaron el tránsito al uso del coque, que fue clave para la Revolución Industrial (1750-1830), primero en Inglaterra, pronto en Francia y en Alemania, y en el siglo XIX en otros países.

En el Nuevo Mundo, el desarrollo del arte metalúrgico fue diferente.^[31] En el mundo mexica, se moldearon metales por el método de la cera perdida, con moldes hechos mezclando arcilla y Cv muy molido; el Fe y el Hg no se producían, y la pólvora negra no se conocía cuando la Expedición de Hernán Cortés (1519-1521).^[32] Mediado el siglo XVI, el español Bartolomé de Medina descubrió el método de amalgamación en patio, en la Pachuca virreinal (actual estado de Hidalgo). Tal método y *El Arte de los Metales* (1640),^[33] son legados de España e Hispanoamérica a la metalurgia universal.^[34]

Añadimos que el Cv lo usó el funcionario y químico universal Antoine Laurent Lavoisier en sus investigaciones de 1772 y 1773-1789.^[35] Al desmontar la teoría del flogisto, observó que la pérdida de masa al calentar la cal de mercurio (HgO) para dar aire fijo ($\text{CO}_2(\text{g})$) era igual que al calentar la cal y Cv.^[36] Su *Traité élémentaire de Chimie*,^[37] fundamental para el florecimiento de la Química, se publicó en 1789, describiendo la producción de Cv mediante carbonera.

Fabricación de diamantes hoy en Extremadura

La IUPAC ha definido los alótropos del C, reticulares (minerales diamante y grafito) y moleculares (fullereno y otros).^[8] Sus estructuras, propiedades y usos son bien conocidos.

En 1772, el mencionado Lavoisier quemó un diamante y demostró la formación de $\text{CO}_2(\text{g})$.^[24] Y en 1797, el químico inglés Smithson Tennant demostró que era todo "charcoal",^[38] es decir, C.

Estos experimentos estimularon la investigación de la transformación del grafito en diamante. Considerando las condiciones geológicas de formación de diamantes, la General Electric Company de Estados Unidos de América comunicó la primera síntesis comercial en 1955, lograda a alta presión y a alta temperatura (HPHT).^[39] Y la investigación siguió.

Los métodos *chemical vapour deposition* (CVD), en español deposición química de vapor, permiten depositar elementos químicos, entre ellos C, y compuestos inorgánicos (óxidos, nitruros, sulfuros, etcétera).^[40]

La empresa Diamond Foundry Europe, SL, construye la primera fábrica de diamantes de Europa en Trujillo (Cáceres). Según su proyecto industrial, se producirán obleas de diamantes de grado semiconductor por CVD asistida por plasma, método que permite recubrimientos uniformes.^[41]

El esquema (Figura 2) ahorra descripciones más prolisas; muestra que el Cv y los diamantes sintéticos tienen un origen so-

lar remoto. En reactores de plasma, el C del metano cristalizará en obleas de diamante. La fábrica se alimentará de una planta solar fotovoltaica con una potencia total de 120 MW hibridada con un sistema de baterías de hasta 60 MW para conseguir la alta temperatura.

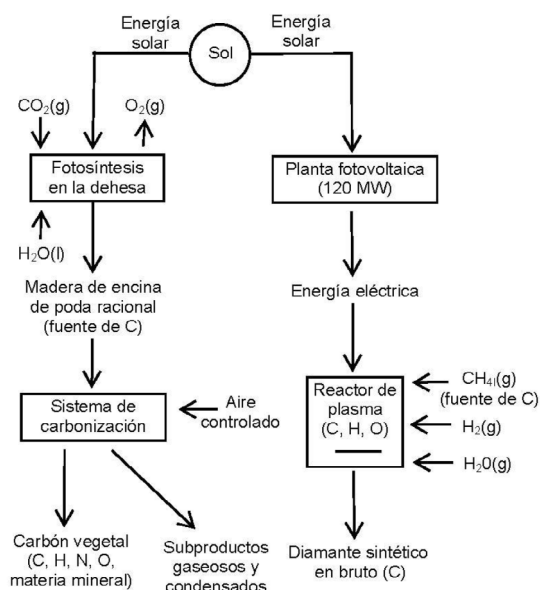


Figura 2. Esquema del origen solar y fabricaciones del carbón vegetal y diamantes.

Conclusiones

1. El carbón vegetal artesanal fue el primer material de carbono sintético; contribuyó significativamente, como combustible y reductor metalúrgico de Cu, Sn, Pb y Fe, al progreso humano desde la Prehistoria.
2. En Extremadura, la fabricación de carbón vegetal en el siglo XXI tiende a ser más industrial que artesanal, para uso principal como combustible en barbacoas y parrillas. Además, es un hito la construcción en Trujillo (Cáceres) de la primera fábrica de Europa de diamantes por CVD asistida por plasma, de grado semiconductor.
3. El carbón vegetal y los diamantes sintéticos fabricados en Extremadura tienen origen solar remoto.

Bibliografía

- [1] A. Asimov, *Introducción a la Ciencia*, Plaza&Janes, Espluges de Llobregat (Barcelona), **1982**.
- [2] M. Á. Aledo (ed.), *Inventos que cambiaron el mundo*, Selecciones del Reader's Digest, Madrid, **1982**.
- [3] N. Toth, D. Clark, G. Ligabue, *Investigación y Ciencia*, **1992**, 192, 6-11.
- [4] N. Martín León, *An. Quim.* **2019**, 115, 68-69.
- [5] F. Á. Calvo, en *Curso de conferencias sobre Historia de la Química* (Ed.: F. Calvo Calvo), Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, **1981**, 41-84.
- [6] H. Marsh, en *Introduction to carbon technologies* (Eds.: H. Marsh, E. Heintz, F. Rodríguez-Reinoso), Universidad de Alicante, Alicante, **1997**, 1-34.
- [7] F. Rodríguez-Reinoso, *Carbon*, **1989**, 27, 305-312, [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(89\)90140-1](https://doi.org/10.1016/0008-6223(89)90140-1).
- [8] E. Fitzer, K.H. Köchling, H.P. Boehm, H. Marsh, *Pure Appl. Chem.* **1995**, 67, 473-506, <https://doi.org/10.1351/pac199567030473>.

- [9] T. P. Jones, W. G. Chaloner, *Mundo científico* **1991**, 119, 1160-1168.
- [10] C. Plinio Segundo, *Historia Natural de Cayo Plinio Segundo*, Visor, Madrid, **1999**.
- [11] A. Macías, J. Macías, J. Pastor, *Apuntes de educación* **1988**, 31, 7-9.
- [12] M. J. Antal, M. Grønli, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2003**, 42, 1619-1640, <https://doi.org/10.1021/ie0207919>.
- [13] F. Shafizadeh, en *Fundamentals of thermochemical biomass conversion* (Eds.: R. P. Overend, T. A. Milne, L. K. Mudge), Elsevier, Londres, **1985**, pp. 183-217.
- [14] *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, vol. 24 (Eds.: M. Grayson, Eckroth), Wiley, Nueva York, **1984**, pp. 579-611.
- [15] E. Sjöström, *Wood Chemistry*, Academic Press, San Diego, **1993**, pp. 234-236.
- [16] C. Valenzuela Calahorra, *Introducción a la Química Inorgánica*, McGraw-Hill, Madrid, **1999**, pp. 687-690.
- [17] R. E. Kirk, D. F. Othmer, *Enciclopedia de tecnología química*, UTHA, México, **1961**, vol. 10.
- [18] J. F. Pastor Valle, *Fabricación de materiales carbonosos en Extremadura, calidad y comercialización*, Escuela de Ingenierías industriales, Badajoz, **2000**.
- [19] N. Carrillo, A. Hernández Hernández, B. P. Castellano-Pontiano, *C-3 Bioeconomy* **2021**, 2, 55-68, <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2.13527>.
- [20] J. Pastor Villegas, J. F. Pastor Valle, M. García García en *Los Barruecos: Primeros Resultados* (Eds.: E. Cerrillo Cuenca), *MarqEx*, **2006**, 6, 103-110.
- [21] M. Á. Elena Roselló, J. Pastor Villegas, en *Actas de la VI Reunión del Grupo Español del Carbón* (Eds.: J. Pastor Villegas, C. J. Durán Valle), UEx, Mérida, **2001**, pp. 19-21.
- [22] Decreto 160/2018, de 2 de octubre, por el que se establecen las bases reguladoras para el régimen de concesión de subvenciones para actuaciones relacionadas con la fabricación de biocombustibles sólidos a partir de la biomasa en Extremadura, DOE 8 oct. **2018**, (196), disponible en <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2018/1960o/18040185.pdf> (consultado: 03/12/2025).
- [23] J. Pastor Villegas, J. F. Pastor Valle, J. Meneses Rodríguez, M. García García, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **2006**, 76, 103-108, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2005.08.002>.
- [24] J. A. Babor, J. Ibarz Aznárez, *Química General Moderna*, Marín, Barcelona, **1964**.
- [25] R. J. Forbes, *Metallurgy in Antiquity*, Brill, Leiden, **1950**.
- [26] C. Stanley Smith, en *Historia de la Tecnología. La técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900* (Eds.: M. Kranzberg, C. W. Pursell), Gustavo Gili, Barcelona, **1981**, pp. 162-188.
- [27] F. R. Morral, E. Jimeno, P. Mollera, *Metalurgia General*, vol. 1, Reverté, Barcelona, **1982**.
- [28] O. Puche Riart, L. F. Mazadiego, M. Martín Díez, *Bol. Geol. Min.* **1996**, 107, 90-100.
- [29] M. Ayarzagüena Sanz, O. Puche Riart, *Bol. Geol. Min.* **2012**, 123, 157-171.
- [30] J. Pastor Villegas, J. F. Pastor Valle, *An. Quím.* **2021**, 117, 62-70.
- [31] M. León-Portilla, J. Gurriá Lacroix, R. Moreno, E. Madero Bracho, *La minería en México*, UNAM, México, **1978**.
- [32] J. Pastor Villegas, J. F. Pastor Valle, *An. Quím. RSEQ* **2023**, 119, 32-41, <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.1861>.
- [33] Á. Alonso Barba, *Arte de los metales*, Imprenta del Reyno, Madrid, **1640**.
- [34] M. Bargalló, *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, Fondo de Cultura Económica, México, **1955**.
- [35] I. Pellón González, *Un químico ilustrado Lavoisier*, Nivola, Madrid, **2002**.

- [36] M. Martín Sánchez, M. T. Martín Sánchez, *An. Quím.* **1999**, *1*, 52-53.
- [37] A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après; avec les découvertes modernes; avec figures*, Chez Cuchet, París, **1789**.
- [38] S. Tennant, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1797**, *87*, 123-127, <https://doi.org/10.1098/rstl.1797.0005>.
- [39] W. Zhu, S. Jin, J. Pickrell, en *Introduction to carbon technologies* (Eds.: H. Marsh, E. Heintz, F. Rodríguez-Reinoso), Universidad de Alicante, Alicante, **1997**, 211-268.
- [40] F. Ojeda, F. J. Martí, J. M. Albella, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*, **1998**, *37*, 447-453.
- [41] Decreto 165/2022, de 30 de diciembre, por el que se declara Proyecto Empresarial de Interés Autonómico al proyecto presentado por la empresa Diamond Foundry Europe, SL, para la construcción de una fábrica de diamantes sintéticos en la localidad de Trujillo (Cáceres), DOE 10 ene. **2023**, (6), disponible en <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2023/60o/23040003.pdf> (consultado: 03/12/2025).



José Pastor Villegas

Universidad de Extremadura, jubilado

C-e: josepastorvillegas@gmail.com

Formación inicial: Maestro Enseñanza Primaria (1963), Licenciado (1973) y Doctor en Ciencias (Químicas) por la UEx (1990).
 Docencia: Primaria, Secundaria, UEx (E. U. Profesorado y E. U. Ingenieros Obras Públicas): No Numerario (1974-1981), Agregado Física y Química (1981-1993), Catedrático E. U. Química Inorgánica (1993-2008) y UEx (Mayores): Profesor de Química (1999-2011).
 Investigación y publicaciones diversas: Didáctica científico-tecnológica, Historia de la Ciencia y la Tecnología, y Materiales de carbono.



Jesús F. Pastor Valle

Ingeniero Industrial

C-e: jesusf@hotmail.com

Formación inicial: Ingeniero Industrial por la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz (Universidad de Extremadura, 2000).
 Actividad profesional: Ingeniería industrial y docencia universitaria.
 Investigación y publicaciones diversas: Materiales de carbono e Historia de la Ciencia y la Tecnología; dos artículos nuestros publicados en *Anales de Química* merecieron el Premio "Salvador Senent" (8ª edición).

¿Quieres formar parte de una de las sociedades científicas más importantes de España?

Si tienes menos de 26 años hazte miembro por 15€

Real Sociedad Española de Química
www.rseq.org